

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS
ESCUELA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS
INGENIERIA GEOGRÁFICA Y PLANIFICACIÓN TERRITORIAL**

**DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGIENERO
GEOGRAFO Y PLANIFICACIÓN TERRITORIAL**

**ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LOS PUNTOS DE MONITOREO DE LA
SECRETARÍA DEL AMBIENTE, UBICADOS DENTRO DEL DISTRITO
METROPOLITANO DE QUITO EN EL PERIODO 2005 – 2017**

CARLOS ENRIQUE VINUEZA ARGUELLO

DIRECTOR: CARLOS NIETO PhD.

QUITO, 2018

CONTENIDO

ÍNDICE DE GRÁFICOS	IV
ÍNDICE DE TABLAS	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE MAPAS	VIII
ÍNDICE DE ANEXOS	IX
AGRADECIMIENTOS	X
DEDICATORIA	XI
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1. TEMA: ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LOS PUNTOS DE MONITOREO DE LA SECRETARÍA DEL AMBIENTE, UBICADOS DENTRO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO EN EL PERIODO 2010 – 2017.	1
1.1 JUSTIFICACIÓN	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.3 OBJETIVOS	4
1.3.1 Objetivo General	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
1.4 HIPÓTESIS	4
1.5 MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	5
1.5.1 Marco Referencial	5

1.5.2	Marco Teórico.....	6
1.5.3	Marco Conceptual	21
CAPITULO II.....		25
MARCO METODOLÓGICO		25
2.1 PRIMERA ETAPA DE LA METODOLOGÍA.....		25
2.2 SEGUNDA ETAPA DE LA METODOLOGÍA		25
2.3 TERCERA ETAPA DE LA METODOLOGÍA		31
2.4 METODOLOGÍA DE MAPEO.....		32
2.4.1	Metodología de Mapeo de la calidad del aire por contaminante.	32
2.4.2	Metodología de Mapeo de la peligrosidad del aire.....	35
2.5 OPERACIONALIZACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN		39
CAPÍTULO III.....		45
RESULTADOS.....		45
3.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS ÍNDICES DE LA CALIDAD DEL AIRE PERMISIBLES DE LA GUÍA DE LA CALIDAD EL AIRE DE LA OMS Y LAS NORMATIVAS NACIONALES.....		45
3.1.1	Guía de la calidad del aire de la OMS	45
3.1.1.1	Función de la guía de la calidad del aire OMS 2005.	46
3.1.1.2	Índices recomendados por la OMS para evaluar la calidad del aire.	46
3.1.2	Normativa nacional.....	50
3.1.2.1	Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire	50
3.1.2.2.	Función de la Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire.	50
3.1.2.3	Índices de permisibilidad, bajo la Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire.	51
3.1.3	Similitud, diferencias y rigidez entre las Guías de la Calidad del aire de la OMS u la Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire.....	52
3.1.3.1	Similitudes.....	53

3.1.3.2 Diferencias.....	54
3.2 ANÁLISIS DE LA SISTEMATIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO.....	54
3.2.1 Análisis anual de la sistematización de los datos de contaminación del aire del DMQ con los índices de contaminación permitidos por la OMS y la NECA.	54
3.2.2 Análisis mensual de la sistematización de los datos de contaminación del aire del DMQ con los índices de contaminación permitidos por la OMS y la NECA.	66
3.2.3 Análisis horario de la sistematización de los datos de contaminación del aire del DMQ con los índices de contaminación permitidos por la OMS y la NECA.	77
3.2.4 Determinación de las estaciones con mayores índices de contaminación.....	86
3.2.5 Sectores con mayor exposición al contaminante.....	88
3.3 MAPEO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL DMQ	90
3.3.1 Mapeo de contaminación por gases y material particulado en las estaciones de monitoreo de DMQ del promedio anual del periodo 2005 – 2017.....	90
3.3.2 Mapeo de peligrosidad de la contaminación del aire del DMQ en el periodo 2005 – 2017.....	94
CAPITULO V.....	97
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	97
4.1. CONCLUSIONES.....	97
4.2. RECOMENDACIONES.....	98
BIBLIOGRAFÍA	99
ANEXOS.....	103

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico No. 1 Operacionalización de la investigación.	40
Gráfico No. 2 Comparativo entre los límites de contaminantes de la Guía de Calidad del Aire de la OMS con los de la Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).	52
Gráfico No. 3 Contaminación del Material Particulado 10μ en función estación - año para el periodo del 2005 al 2017 (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).	56
Gráfico No. 4 Contaminación del Material Particulado $2,5\mu$ en función estación - año para el periodo del 2005 al 2017(valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).	58
Gráfico No. 5 Promedios de Ozono (O_3) (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).	61
Gráfico No. 6 Promedios de Dióxido de Nitrógeno (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).	63
Gráfico No. 7 Promedios de Dióxido de Azufre (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).	65
Gráfico No. 8 Promedios mensuales de Material particulado de 10μ (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).	67
Gráfico No. 9 Promedios mensuales de Material particulado de $2,5\mu$ (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).	69
Gráfico No. 10 Promedios mensuales de Ozono (O_3) (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).	70
Gráfico No. 11 Promedios mensuales de Dióxido de Nitrógeno (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).	72
Gráfico No. 12 Promedios mensuales de Dióxido de Azufre (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).	74
Gráfico No. 13 Compilación de Gráficos de Promedios Mensuales (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).	75
Gráfico No. 14 Gráfico de lluvias del DMQ (valores en ml^3).	76
Gráfico No. 15 Promedios de contaminación horaria de Material Particulado de 10μ (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	78
Gráfico No. 16 Promedios de contaminación horaria de Material Particulado de $2,5\mu$ (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).	79
Gráfico No. 17 Promedios de contaminación horaria de Ozono (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).	81
Gráfico No. 18 Promedios de contaminación horaria de Dióxido de Nitrógeno (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).	82
Gráfico No. 19 Promedios de contaminación horaria de Dióxido de Azufre (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).	84
Gráfico No. 20 Resumen de contaminación horaria por contaminantes (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No. 1 Concentraciones de contaminantes como criterio que define los niveles de alerta, de alarma y de emergencia en la calidad del aire	20
Tabla No. 2 Estaciones de monitoreo del DMQ y contaminantes monitoreados.....	26
Tabla No. 3 Ejemplo de información en formato pdf de las estaciones de monitoreo del año 2005.	27
Tabla No. 4 Resumen de valoración de contaminantes de la estación Belisario Quevedo del 2005 (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).....	28
Tabla No. 5 Resumen de promedios anuales de Material Particulado de $2,5\mu$ (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$), por estación para el periodo 2005 al 2017.....	29
Tabla No. 6 Resumen de promedios mensuales de Material Particulado de $2,5\mu$ (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$), por estación para el periodo 2005 al 2017.....	29
Tabla No. 7 Resumen de datos horarios de Material Particulado $2,5\mu$ (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).....	30
Tabla No. 8 Estaciones con promedios más altos de contaminación (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$), promedio para el periodo 2005 al 2017.	33
Tabla No. 9 Realización de la igualación de variables con el M.C.M=200. (Valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).	36
Tabla No. 10 Tabla de valores de ponderación.	37
Tabla No. 11 Ponderación de la Peligrosidad de la Calidad del Aire (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).....	37
Tabla No. 12 Resumen de promedios anuales de Material Particulado de 10μ (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).	55
Tabla No. 13 Resumen de promedios anuales de Material Particulado de $2,5\mu$ (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).	57
Tabla No. 14 Resumen de promedios anuales de Ozono (O_3) (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).	60
Tabla No. 15 Resumen de promedios anuales de Dióxido de Nitrógeno (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$). .	62
Tabla No. 16 Resumen de promedios anuales de Dióxido de Azufre (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).	64
Tabla No. 17 Resumen de promedios mensuales de Material Particulado de 10μ (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).	67

Tabla No. 18 Resumen de promedios mensuales de Material Particulado de 2,5 μ (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).	68
Tabla No. 19 Resumen de promedios mensuales de Ozono (O_3) (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).	70
Tabla No. 20 Resumen de promedios mensuales de Dióxido de Nitrógeno (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).	71
Tabla No. 21 Resumen de promedios mensuales de Dióxido de Azufre (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)...	73
Tabla No. 22 Resumen de datos horarios de Material Particulado 10 (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).....	77
Tabla No. 23 Resumen de datos horarios de Material Particulado 2,5 μ (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)...	79
Tabla No. 24 Resumen de datos horarios de Ozono (O_3) (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).	80
Tabla No. 25 Resumen de datos horarios de Dióxido de Nitrógeno (NO_2) (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).	82
Tabla No. 26 Resumen de datos horarios de Dióxido de Azufre (SO_2) (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).....	83
Tabla No. 27 Estaciones con promedios más altos de contaminación (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio para el periodo 2005 al 2017).....	86
Tabla No. 28 Población más afectada por el Material Particulado.....	88
Tabla No. 29 Población afectada por el Ozono	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No. 1 Ubicación e influencia espacial de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire.	44
---	----

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa No. 1 Mapa Base del Distrito Metropolitano de Quito y localización de las estaciones de monitoreo de calidad del aire.....	43
Mapa No. 2 Representación de la contaminación del aire por gases en las estaciones de monitoreo del DMQ 2005 – 2017.....	91
Mapa No. 3 Representación de la contaminación del aire por material particulado en las estaciones de monitoreo del DMQ 2005 – 2017.	93
Mapa No. 4 Representación de peligrosidad de la calidad del aire del DMQ 2005 – 2017....	95

ÍNDICE DE ANEXOS

Foto No. 1 Evidencia de Contaminación en la Panamericana Norte	103
Foto No. 2 Evidencia de Contaminación en la Av. 6 de Diciembre	103
Foto No. 3 Guanguitalgua sector Parque Metropolitano 2018	104
Foto No. 4 San Antonio de Pichincha – Cantera Mandingo 9.6 ha.	104

AGRADECIMIENTOS

En realidad, no hay palabras suficientes para expresar mi agradecimiento a todas las personas que me han apoyado en este proceso.

De antemano, deseo agradecer a Dios por bendecirme con la hermosa familia que tengo, especialmente, por darme una madre tan maravillosa, que siempre ha velado por mi bienestar y mi crecimiento personal, por quien me siento muy orgulloso.

Agradezco a mi papá por no dejarme solo en esta importante etapa de mi vida, a mis primos y primas por darme el ejemplo de lograr cada reto que me propongo, y ser cómplices de cada travesura hecha en mi vida. En especial un agradecimiento a mi primo Christian por su apoyo y respaldo en la elaboración de esta disertación

Agradezco en el infinito a mi abuelita Fabi, por ser como una segunda madre para mí, por siempre estar pendiente de que no flaquee en mis estudios, y haber sido la persona más importante en mi vida.

Agradezco a mi profesor Carlos Nieto por su confianza y paciencia para poder realizar esta investigación, y debo resaltar que además de ser un excelente profesor, es una persona admirable y de gran corazón.

Y no puede faltar mis agradecimientos a mis íntimos enemigos, mis mejores amigos, por su apoyo, paciencia, consejos y bromas, especialmente, a Julio, Felipe y Gabriel; compañeros de trabajos, experiencias y vida.

“Aprende como si fueras a vivir para siempre”

Mahat Magandhi

DEDICATORIA

A mi mamá por todo su amor y comprensión incondicional,

A mi papá por todo el apoyo que me ha brindado,

A mis primos y primas por ser el ejemplo a seguir y cómplices a la vez,

Y especialmente, A Dios por bendecir cada paso de mi vida,

A mi abuelita Fabi que siempre la tengo en mis pensamientos.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

- 1. TEMA:** ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AIRE EN LOS PUNTOS DE MONITOREO DE LA SECRETARÍA DEL AMBIENTE, UBICADOS DENTRO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO EN EL PERIODO 2010 – 2017.

1.1 JUSTIFICACIÓN

Ante la necesidad de controlar la contaminación del aire como una creciente demanda que plantea el presente, las impredecibles consecuencias que suscitan en el futuro, se ha realizado un estudio enfocado a comparar los índices de la calidad del aire en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), mediante el uso de la guía internacional de la calidad del aire emitido por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Y la Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire (NECA), con la finalidad de determinar el grado de contaminación del aire en el DMQ, y proponer alternativas de concientización para mejorar la calidad de vida de la población en la ciudad de Quito.

La temática del deterioro del aire en el planeta, en la actualidad es el núcleo de muchas discusiones de índole académico, político y social; acerca de las medidas que son tomadas en cada territorio con la idea de mitigar, reducir e incluso eliminar la contaminación del aire, es por eso que la realización de una disertación enfocada a comparar los índices de calidad del aire en el DMQ, con la guía internacional, emitida por la Organización Mundial de la Salud, y la normativa nacional, resulta un tema muy interesante y de interés social.

En marcado en la actual coyuntura ambiental internacional, la temática del cuidado del aire llega también relacionada con el magno evento del Hábitat III y ciudades sostenibles, evento de gran realce internacional enfocado en la vivienda y desarrollo urbano sostenible, que se desarrolló en Quito, Ecuador del 17 al 20 de octubre de 2016. Siendo la anfitriona del evento nuestra ciudad capital Quito, fue entregada una gran responsabilidad en cuanto a la necesidad de crear más

espacios de discusión de índole académico, social, económico y político; de las temáticas de tipo ambiental, como lo es el estudio de la calidad del aire

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible, son pilares fundamentales en la elaboración de esta disertación relacionada a la investigación de la calidad del aire, pues de manera directa se enmarca en los objetivos, 3 Salud y Bienestar, 11 Ciudades y Comunidades Sostenibles y 13 Acción por el Clima. La obtención de un análisis de la calidad del aire junto con un mapeo de este es de sumo interés de índole académico e institucional de la ciudad de Quito, por lo cual se adhirió al interés de la elaboración de esta disertación de la Secretaría de Ambiente del Municipio del DMQ.

Mejorar la contaminación del aire, que respiramos, no es tarea fácil, puesto que emplea procesos de concientización que requieren ser abordados desde planteamientos contextuales, hasta factores que condicionan la acción socio-económica del país. De forma que al momento de establecer parámetros de control del aire, estos deberán permitir mejorar el medioambiente.

El objetivo fundamental de este estudio no es solamente analizar de una forma global como incide la contaminación del aire en el desarrollo evolutivo de los habitantes del DMQ, sino también analizar que se hace para evitar la contaminación del aire y como se puede mejorar el medio ambiente del DMQ.

La información para la creación de la disertación es de acceso libre a cualquier persona que goce de sus derechos de ciudadanía, para la elaboración de esta disertación se tendrá el respaldo de información de personal interno de la Secretaría del Ambiente del DMQ, misma que ha mostrado interés en la elaboración de esta disertación, con el fin de obtener un estudio de índole académico, que sea paralelo a sus informes de la calidad ambiental institucionales.

El Área designada para realizar el estudio es el Distrito Metropolitano de Quito, del cual se presentaran mapas de la calidad del aire en el transcurso de los años que serán analizados en este estudio, y por petición expresa del municipio se elaborara un modelo digital de elaboración de mapas, para uso institucional y académico de la Secretaría de Ambiente y la Pontificia Universidad Católica de Quito.

Los beneficiarios de este estudio serán los habitantes del Distrito Metropolitano de Quito.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Uno de los problemas más críticos del DMQ es la contaminación del aire, y siempre ha sido preocupación de los ambientalistas proponer acciones orientadas a promover la conservación del medio ambiente mediante el control del parque automotor, de las industrias que funcionan en el área urbana y la explotación de las canteras, como puntos básicos de contaminación.

En este contexto, explica que la contaminación del aire sea objeto de una atención urgente, como conjunto de propuestas de carácter estratégico, encaminadas a establecer y promover el mejoramiento de la calidad del aire que respiramos.

Los reportes diarios presentados por la Secretaría de Ambiente, no revelan la realidad de contaminación que sufre el DMQ, situación que debe ser considerada por los involucrados en cuidar el medio ambiente, para exigir a las autoridades la revisión y el cumplimiento de las normativas existentes.

Mediante la observación de la ciudad de Quito en la mañana, se puede constatar que la cubre una nube de smog como se lo observa en *Foto No 1, 2, 3 y 4* lo que hace pensar que no hay el debido control en los focos importantes de contaminación,

En tal virtud, se plantea el siguiente problema

En consecuencia, la presente investigación pretende encontrar respuesta a la siguiente interrogante: ¿Cuál es la calidad de aire del DMQ en cuanto al cumplimiento de la normativa nacional y la guía de la calidad del aire de la OMS?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Analizar la calidad del aire del DMQ en comparación con los estándares de la OMS y la normativa Nacional, en base a la información de los puntos de monitoreo de la Secretaría del Ambiente.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Caracterizar los índices de la calidad del aire permisibles de la guía de la calidad el aire de la OMS y las normativas nacionales.
2. Sistematizar la información de las estaciones de monitoreo de calidad del aire en el DMQ en el periodo 2005 -2017.
3. Analizar el cumplimiento de los parámetros de contaminación del aire permisibles establecidos por la guía de la calidad del aire de la OMS y las normativas nacionales.
4. Mapear la calidad del aire en el DMQ, en base en la información de los puntos de monitoreo de la Secretaría del Ambiente.

1.4 HIPÓTESIS

La calidad del aire del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) basada en la información de los puntos de monitoreo de la Secretaria del Ambiente del Municipio Metropolitano de Quito, concuerdan con los estándares internacionales de la OMS y los de la normativa nacional (NECA).

1.5 MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

1.5.1 Marco Referencial

Uno de los problemas que se analiza con mayor preocupación en foros, conferencias y seminarios, es la revisión de la calidad del aire como uno de los puntos críticos del Distrito Metropolitano de Quito.

Cabe señalar, que no existe una información objetiva respecto a la dimensión del problema, a pesar de que siempre las principales ciudades están expuestas a la contaminación del aire como impacto inevitable del progreso.

En este sentido, es importante destacar los esfuerzos del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito que a través de la CORPAIRE, inicia la batalla de mejorar la calidad del aire de manera técnica enfocado en la prevención y control de la contaminación básicamente aquella que tiene origen vehicular.

Los resultados de los estudios realizados para determinar la calidad del aire, están basados en los límites establecidos en la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire, y por la guía de calidad del aire de LA OMS, aunque el material particulado fino o PM2.5, debe ser una de las mayores preocupaciones de las autoridades responsables del control del aire por la incidencia de efectos negativos en la salud de la población.

Es importante señalar que según la nueva Constitución vigente del 2008, el Art. 14 dice: “se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*”, considerado además de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad, la preservación del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados y coherentemente con ello, el Estado tiene como deber primordial, promover el desarrollo sustentable y proteger el patrimonio natural y cultural. (Art. 3 literales 5 y 7) (Asamblea Constitucional del Ecuador, 2008).

En este contexto, es preocupante que no exista una información adecuada de los entes estatales ni municipales para que la población conozca el problema de la contaminación del aire en el DMQ y pueda tomar precauciones para que su salud no se vea afectada, situación que contradice los lineamientos planteados en la Constitución del 2008 en sus artículos 14 y 3.

Por lo expuesto, se hace necesario que se tome con seriedad la elaboración de leyes, estrategias y reglamentos ambientales que respondan a una verdadera política de estado y se provea del presupuesto necesario para la adquisición de insumos y tecnología que permitan desarrollar de manera óptima el control de la calidad del aire en el DMQ.

En el proceso de búsqueda bibliográfica previa a la elaboración del plan de disertación se encontró un texto en relación a la contaminación producida por el parque automotor de la ciudad de Quito.

Sobre los índices de calidad del aire, los Informes de la calidad del aire, información publicada por la Secretaría del Ambiente de DMQ, misma información bibliográfica que servirá para la elaboración de la disertación. Estos son emitidos por la Secretaría del Ambiente, en estos informes se publican los valores, de contaminación obtenidos por tipo de contaminante, en las mediciones de cada estación de monitoreo.

La Guía de la Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud, así como el Plan Nacional de la Calidad del Aire, y la Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire; serán textos de utilización referencial de los parámetros, índices, leyes y términos; utilizados en la disertación.

Se encontró 3 trabajos previos del estudiante en relación a la temática de la calidad del aire en Quito, mismo que tienen el enfoque de actores involucrados, índices de contaminación y leyes y normativas.

1.5.2 Marco Teórico

Es importante señalar que la constitución vigente del 2008 , contempla la obligatoriedad de desarrollar políticas para el mejoramiento de la calidad del aire como elemento básico para la protección de la salud humana, en tal virtud, las autoridades responsables del control del aire

deben tener en cuenta los límites determinados para cada uno de los contaminantes que se encuentran en las guías de calidad del aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS) (Asamblea Constitucional del Ecuador, 2008), las mismas que rigen a nivel mundial, por tanto, los países deben tratar de llegar a los límites propuestos para lograr una verdadera protección de la salud (Organización Mundial de la Salud, 2018).

En el caso del Distrito Metropolitano de Quito, la NECA obligatoria que actualmente está en vigencia es la Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire (NECA), publicada en el Registro Oficial N° 464 del 7 de junio del 2011. Esta norma, que es aparentemente más permisiva que las Guías de la Calidad del Aire de la OMS, es susceptible de mejora para llegar a cumplir la exigencia de control internacional definidas por la OMS (Ministerio del Ambiente, 2015).

Fuentes de contaminación del aire

“La contaminación del aire como la presencia en la atmósfera exterior de uno o más contaminantes o sus combinaciones en cantidades tales y con tal duración que sean o puedan afectar la vida humana, de animales, de plantas o de la propiedad, que interfiera el goce de la vida, la propiedad o el ejercicio de las actividades.” (Wark, Kenneth; Warner, Cecil Francis y Davis, Wayne T. , 1990)

Material Particulado de 10μ y $2,5\mu$: se refiere a toda materia sólida en suspensión en forma de humo, polvo y vapores. Estas provienen de diversos orígenes, entre los cuales podemos mencionar la combustión de diésel en camiones y autobuses, los combustibles fósiles, la mezcla y aplicación de fertilizantes y agroquímicos, la construcción de caminos, la fabricación de acero, la actividad minera y de canteras, la quema de rastrojos y malezas y las chimeneas de hogar y estufas a leña (Eldon, Enger y Smith, Brad, 2006), El material particulado (MP) es un conjunto de partículas sólidas y líquidas emitidas directamente al aire, tales como el hollín de diésel, polvo de vías, el polvo de la agricultura y las partículas resultantes de procesos productivos (Fang, G.C., Chang, C.N., Chu, C.C., Wu, Y.S., Fu, P., Yang, I.L., y Chen, M.H. , 2003).

Dióxido de nitrógeno (NO_2): Resulta de la combustión de la gasolina, el carbón y otros combustibles. Este causa smog y en muy altas concentraciones lluvia ácida. El smog se produce por la reacción de los óxidos de nitrógeno con compuestos orgánicos volátiles (Eldon, Enger y

Smith, Brad, 2006).

Los óxidos de nitrógeno son una mezcla de gases compuestos de nitrógeno y oxígeno. El monóxido de nitrógeno y el dióxido de nitrógeno constituyen dos de los óxidos de nitrógeno más importantes toxicológicamente; ninguno de los dos son inflamables y son incoloros a pardo en apariencia a temperatura ambiente. El dióxido de nitrógeno tiene un fuerte olor desagradable. El dióxido de nitrógeno es un líquido a temperatura ambiente, pero se transforma en un gas pardo-rojizo a altas temperaturas (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2016).

Los óxidos de nitrógeno son liberados al aire desde el escape de vehículos motorizados, de la combustión del carbón, petróleo, o gas natural, y durante procesos tales como la soldadura al arco, galvanoplastia, grabado de metales y detonación de dinamita. También son producidos comercialmente al hacer reaccionar el ácido nítrico con metales o con celulosa (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2016).

Los óxidos de nitrógeno son usados en la producción de ácido nítrico, lacas, tinturas y otros productos químicos. Los óxidos de nitrógeno se usan en combustibles para cohetes, en la nitrificación de compuestos químicos orgánicos y en la manufactura de explosivos (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2016).

Dióxido de Azufre (SO₂): Se produce por la combustión de carbón, especialmente en usinas térmicas. También proviene de ciertos procesos industriales, tales como la fabricación de papel y la fundición de metales. Al igual que los óxidos de nitrógeno, el dióxido de azufre es uno de los principales causantes del smog y la lluvia ácida (Eldon, Enger y Smith, Brad, 2006).

El Dióxido de azufre, también llamado dióxido de sulfuro, es un gas incoloro, irritante, con un olor penetrante que se comienza a percibir con 0,3 a 1,4 ppm y es perfectamente distinguible a partir de 3 ppm -partes por millón-. Su densidad es el doble que la del aire. No es un gas inflamable, ni explosivo y tiene mucha estabilidad, es muy soluble en agua y en contacto con ella se convierte en ácido sulfúrico. Consiste en un átomo de azufre y dos de oxígeno (Fundación para la Salud Geoambiental, 2013).

Ozono (O₃): Es una variedad de oxígeno, que, a diferencia de éste, contiene tres átomos de oxígeno en lugar de dos “La mayor parte del ozono en la tropósfera se produce cuando los dióxidos de nitrógeno (NO₂) o (SO₂), el monóxido de carbono (CO) y los compuestos orgánicos volátiles (COV) reaccionan en la atmósfera, en presencia de luz solar. Las fuentes antropogénicas más importantes de precursores de ozono son las emisiones vehiculares, las emisiones industriales y los solventes químicos. A pesar de que estos precursores se originan en áreas urbanas, pueden ser arrastrados por los vientos a lo largo de varios kilómetros provocando incrementos en la concentración de ozono en regiones menos pobladas” (Secretaria del Medio Ambiente CDMX, 2016).

Consecuencias de la contaminación del aire.

Material Particulado: “Se manifiesta especialmente por problemas cardiovasculares y respiratorios. Entre las enfermedades que se conocen ligadas a la presencia de MP en el aire respirado, podemos citar: EPOC, asma ocupacional, alergias, bronquitis crónica hasta cáncer ocupacional, o enfermedades laborales como la silicosis, asbestosis o tabacosis” (Gomez, M, 2013)

Ozono (O₃): El ozono de las capas superiores de la atmósfera, donde se forma de manera espontánea, constituye la llamada “capa de ozono”, la cual protege la tierra de la acción de los rayos ultravioletas. Sin embargo, a nivel del suelo, el ozono es un contaminante de alta toxicidad que afecta la salud, el ambiente, los cultivos y una amplia diversidad de materiales naturales y sintéticos (Eldon, Enger y Smith, Brad, 2006).

El ozono en el aire que respiramos puede dañar nuestra salud, mayormente en días calientes y soleados, cuando puede alcanzar niveles dañinos. Valores incluso relativamente bajos de ozono pueden causar efectos negativos en la salud. Los niños, las personas con problemas pulmonares, los adultos mayores y las personas activas fuera de las viviendas, incluyendo quienes trabajan al aire libre, pueden ser particularmente sensibles a su efecto (González, 2018).

Efectos sobre las vías respiratorias. El ozono es un potente oxidante que puede irritar las vías respiratorias causando tos, ardor, resuello, falta de aire; puede agravar el asma y otras dolencias pulmonares (González, 2018).

Respirar ozono puede generar una variedad de problemas de salud incluyendo dolor en el pecho, tos, irritación de la garganta y congestión. Puede empeorar la bronquitis, enfisemas y el asma. El ozono ambiental puede también disminuir la función de los pulmones e inflamar la envoltura pulmonar. La exposición repetida puede dañar de forma permanente el tejido pulmonar (González, 2018)

Dióxido Nitrógeno (NO)₂: Altas concentraciones, el smog puede producir dificultades respiratorias en las personas asmáticas, accesos de tos en los niños y trastornos en general del sistema respiratorio. La lluvia ácida afecta la vegetación y altera la composición química del agua de los lagos y ríos, haciéndola potencialmente inhabitable para las bacterias, excepto para aquellas que tienen tolerancia a los ácidos (Eldon, Enger y Smith, Brad, 2006).

Dióxido de (SO₂): Está estrechamente relacionado con el ácido sulfúrico, que es un ácido fuerte. Puede causar daños en la vegetación y en los metales y ocasionar trastornos pulmonares permanentes y problemas respiratorios (Eldon, Enger y Smith, Brad, 2006).

Evento Aislado (erupción Volcán Reventador).

En noviembre de 2002 se activó el Reventador con una fuerte erupción. La pluma de ceniza volcánica se dirigió hacia el occidente provocando caídas de ceniza en Quito, lo que ocasionó el cierre del aeropuerto por varios días y serios problemas en la ciudad. Desde el 2002 el volcán ha continuado manifestándose de manera diversa entre los cuales están las emisiones moderadas de ceniza. Los episodios principales de actividad se han producido durante los periodos de 2003, 2004-2005, 2007, y 2008-2010 (Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, 2014)

Los reportes meteorológicos vinculados con la alerta volcánica por El Reventador (volcán activo ubicado a 100 Km al noreste de Quito), se tiene que el 21 de julio del 2005 existió una pluma de ceniza, proveniente de ese volcán, dirigiéndose a Quito (Díaz, V, 2006)

La presencia de fluoruros y cloruros, además de los sulfatos, en los sedimentos de la red de depósito, da una clara señal de la fuente volcánica de estas emisiones debido a la inexistencia de fuentes industriales de estos contaminantes en el DMQ (Díaz, V, 2006).

Debe mencionarse que Pomasqui está fuertemente influenciada por las emisiones fugitivas de polvo provenientes de las canteras de materiales de construcción que operan en la zona, por lo que debe estudiarse la hipótesis de que ese material sirvió de vehículo para la acumulación de gases de azufre que provocaron los altos niveles de sulfatos (Díaz, V, 2006)

Posibilismo geográfico.

En la corriente ambientalista, el Posibilismo Geográfico se ubica dentro de la Geografía Clásica como un paradigma que se sustenta en el método científico de su época. El posibilismo o historicismo como paradigma naciente considera que al instalarse los grupos humanos en el medio natural, estos haciendo uso de su libertad serían capaces de modificar el medio y decidir entre diversas opciones.

Como alternativa al determinismo de Ratzel, se da origen a la geografía humana sustentada por el geógrafo e historiador Paul Vidal de la Blache.. “cuyo interés se centra más en las transformaciones que el hombre hace sobre el medio, es decir el hombre como agente geográfico, que en las influencias del medio geográfico sobre el hombre y la sociedad”. (Delgado, O, 2006)

En este contexto, el posibilismo se constituye en la base de la “geografía regional”, con discípulos como Jean Brunhes, Alberto Demangeon, Raúl Blanchard, Camilo vallaux, Julio Sion y Maximiliano Sorre. (Febvre 1955). Para Buttimer (1980), esta escuela (posibilismo), “es una de las más importantes fuentes de ideas y profundizaciones sobre el tema de la sociedad y el medio”.

Por tanto, las actividades realizadas por los seres humanos dejan de ser pensadas como reacción a las condiciones ambientales, y pasan a ser entendidas como actividades del hombre que hacen uso de los recursos naturales y causan cierta modificación del medio en el cual se desenvuelven.

Regulaciones internacionales de la calidad del aire.

Guía Internacional de la calidad del aire de la OMS.

La Guía Internacional de la calidad del aire emitida por la organización Mundial de la Salud, establece referencias exigentes para el control de los índices de contaminación del aire, la misma que será utilizada para determinar si la calidad del aire del DMQ cumple totalmente, parcialmente o no cumple con esta serie de parámetros recomendados por la institución internacional (Organización Mundial de la Salud, 2005).

La Guía Internacional de la OMS para el control de calidad del aire, considera que el aire limpio es un requisito básico para la salud y el bienestar del ser humano, sin embargo, su contaminación representa una amenaza importante para la salud no sólo a nivel nacional sino mundial (Organización Mundial de la Salud, 2005).

Las evaluaciones realizadas por la Organización Mundial de la Salud, han determinado que son más de dos millones las muertes prematuras que se pueden atribuir cada año por los efectos de la contaminación del aire en espacios abiertos urbanos y en espacios cerrados (producida por la quema de combustibles sólidos). Este problema se refleja con más énfasis en los países en vías de desarrollo (Organización Mundial de la Salud, 2005)

Leyes o normativas que rigen la calidad del aire a nivel nacional y local.

Código ambiental.

Establece: “Considerando; Que, el artículo 276, número 4, de la Constitución de la República del Ecuador, establece que uno de los objetivos del régimen de desarrollo será recuperar y

conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural;” (Asamblea Nacional, 2017).

Los artículos 26 y 27 establecen las siguientes facultades a cada gobierno autónomo.

“Art. 26.- Facultades de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Provinciales en materia ambiental.

En el marco de sus competencias ambientales exclusivas y concurrentes corresponde a los Gobiernos Autónomos Descentralizados Provinciales las siguientes facultades, que ejercerán en las áreas rurales de su respectiva circunscripción territorial, en concordancia con las políticas y normas emitidas por la Autoridad Ambiental Nacional:

1. Definir la política pública provincial ambiental;
2. Elaborar planes, programas y proyectos de incidencia provincial para la protección, manejo, restauración, fomento, investigación, industrialización y comercialización del recurso forestal y vida silvestre, así como para la forestación y reforestación con fines de conservación;
3. Promover la formación de viveros, huertos semilleros, acopio, conservación y suministro de semillas certificadas;
4. Elaborar planes, programas y proyectos para prevenir incendios forestales y riesgos que afectan a bosques y vegetación natural o bosques plantados;
5. Prevenir y erradicar plagas y enfermedades que afectan a bosques y vegetación natural;
6. Generar normas y procedimientos para prevenir, evitar, reparar, controlar y sancionar la contaminación y daños ambientales, una vez que el Gobierno Autónomo Descentralizado se haya acreditado ante el Sistema Único de Manejo Ambiental;
7. Establecer tasas vinculadas a la obtención de recursos destinados a la gestión ambiental, en los términos establecidos por la ley;

8. Controlar el cumplimiento de los parámetros ambientales y la aplicación de normas técnicas de los componentes agua, suelo, aire y ruido;
9. Controlar las autorizaciones administrativas otorgadas;
10. Desarrollar programas de difusión y educación sobre los problemas de cambio climático;
11. Incorporar criterios de cambio climático en los planes de desarrollo y ordenamiento territorial y demás instrumentos de planificación provincial; y,
12. Establecer incentivos ambientales de incidencia provincial para las actividades productivas sostenibles que se enmarquen en la conservación y protección del ambiente”
(Asamblea Nacional, 2017).

“Art. 27.- Facultades de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Metropolitanos y Municipales en materia ambiental. En el marco de sus competencias ambientales exclusivas y concurrentes corresponde a los Gobiernos Autónomos Descentralizados Metropolitanos y Municipales el ejercicio de las siguientes facultades, en concordancia con las políticas y normas emitidas por los Gobiernos Autónomos Provinciales y la Autoridad Ambiental Nacional:

1. Dictar la política pública ambiental local;
2. Elaborar planes, programas y proyectos para la protección, manejo sostenible y restauración del recurso forestal y vida silvestre, así como para la forestación y reforestación con fines de conservación;
3. Promover la formación de viveros, huertos semilleros, acopio, conservación y suministro de semillas certificadas;
4. Prevenir y controlar incendios forestales que afectan a bosques y vegetación natural o plantaciones forestales;
5. Prevenir y erradicar plagas y enfermedades que afectan a bosques y vegetación natural;

6. Elaborar planes, programas y proyectos para los sistemas de recolección, transporte, tratamiento y disposición final de residuos o desechos sólidos;
7. Generar normas y procedimientos para la gestión integral de los residuos y desechos para prevenirlos, aprovecharlos o eliminarlos, según corresponda;
8. Regular y controlar el manejo responsable de la fauna y arbolado urbano;
9. Generar normas y procedimientos para prevenir, evitar, reparar, controlar y sancionar la contaminación y daños ambientales, una vez que el Gobierno Autónomo Descentralizado se haya acreditado ante el Sistema Único de Manejo Ambiental;
10. Controlar el cumplimiento de los parámetros ambientales y la aplicación de normas técnicas de los componentes agua, suelo, aire y ruido;
11. Controlar las autorizaciones administrativas otorgadas;
12. Elaborar programas de asistencia técnica para suministros de plántulas;
13. Desarrollar programas de difusión y educación sobre el cambio climático;
14. Insertar criterios de cambio climático en los planes de desarrollo y ordenamiento territorial y demás instrumentos de planificación cantonal de manera articulada con la planificación provincial y las políticas nacionales;
15. Establecer y ejecutar sanciones por infracciones ambientales dentro de sus competencias, y;
16. Establecer tasas vinculadas a la obtención de recursos destinados a la gestión ambiental, en los términos establecidos por la ley Cuando el Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial tenga la competencia, los Gobiernos Autónomos Municipales o Metropolitanos de la misma provincia solo ejercerán estas facultades en la zona urbana” (Asamblea Nacional, 2017).

En el Código Orgánico del Ambiente se expresa acerca de la calidad del aire en los artículos 152 ,191 y 193 lo siguiente:

El artículo 152 establece la necesidad de gestar arboleado de parte del Gobierno Autónomo Descentralizado Metropolitano, esto del área monitoreada, con el fin de reducir la contaminación del medio ambiente (Código Orgánico Ambiental, 2018).

El artículo 191, establece como entidad de monitoreo y control de la calidad del aire al Gobierno Autónomo Metropolitano; así como la promoción de informes e investigaciones de calidad ambiental (Código Orgánico Ambiental, 2018).

El artículo 193, establece que el gobierno autónomo descentralizado local es el encargado de realizar cualquier evaluación adicional necesaria (Asamblea Nacional, 2017).

Plan nacional de la calidad del aire

“El Plan Nacional de Calidad del Aire surge de la necesidad de cumplir la Constitución de la República del Ecuador. Esta establece que el Estado protegerá el derecho de la población a vivir en un medio ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice un desarrollo sustentable. Velará para que este derecho no sea afectado y garantizará la preservación de la naturaleza” (Ministerio del Ambiente, 2010).

El presente Plan ha sido desarrollado bajo el lineamiento de las Políticas Ambientales Nacionales desarrolladas por el Ministerio del Ambiente y como líneas estratégicas fueron establecidas para una cabal ejecución del PNCA: el desarrollo del conocimiento, la prevención y control de la contaminación del aire, la institucionalidad y perfeccionamiento de la capacidad técnica” (Ministerio del Ambiente, 2010).

“El objetivo principal del Plan Nacional de Calidad del Aire es el de alcanzar una gestión ambiental adecuada de la calidad del recurso aire para proteger la salud humana, los recursos naturales y el patrimonio cultural, contribuyendo así al mejoramiento de la calidad de vida de la población ecuatoriana” (Ministerio del Ambiente, 2010).

“Los objetivos específicos son:

- Desarrollar una línea base de la gestión del recurso aire en el Ecuador que permita estructurar los lineamientos del Plan Nacional de la Calidad del Aire.
- Implementar el Plan Nacional de Calidad del Aire sobre la base de las políticas y que traduzca las estrategias en acciones definidas para los diferentes aspectos de la gestión del recurso aire.
- Definir las acciones, metas, objetivos e indicadores sobre la base de la situación de análisis y evaluación de necesidades, tomando en cuenta la situación local o nacional.
- Mantener las concentraciones promedio anuales de contaminantes del aire bajo los estándares permisibles al año 2013” (Ministerio del Ambiente, 2010).

El diagnóstico presentado en el Plan Nacional de la Calidad del aire se presenta al país en materia de calidad del aire de la siguiente forma:

Se establece que la existencia de pocas investigaciones sobre los efectos de la contaminación del aire en la salud de las personas, por lo tanto estos temas no se han incluido en ningún programa de desarrollo urbano, mucho menos se han llevado a cabo estudios epidemiológicos relacionados con la contaminación del aire (Ministerio del Ambiente, 2010).

“La percepción ciudadana está dirigida exclusivamente a los impactos que genera la contaminación sobre la salud, esto repercute en la escasa valoración de los impactos que la contaminación atmosférica genera en el tema del desarrollo social y económico” (Ministerio del Ambiente, 2010).

Se da cuenta de que los efectos de la contaminación atmosférica sobre la economía del Ecuador no han sido establecidos por ninguna entidad por la falta de un conocimiento de la calidad del aire en el país, lo que de manera urgente vuelve necesaria la información de estudios de índole ambiental enfocados al monitoreo del aire (Ministerio del Ambiente, 2010)).

“En el momento en que la sociedad visualice el real problema de la contaminación, deberá originarse un fenómeno de movilidad social que busque mejorar los hábitos y preferencias de uso y consumo, esto repercutirá en el mejoramiento de la salud y el desarrollo social” (Ministerio del Ambiente, 2010).

En cuanto al marco normativo y el marco institucional competente a la gestión del aire, se caracteriza por su fundamento constitucional y de derecho internacional, a nivel nacional, hay normas legales; que deben ser aplicadas por varias instituciones, cuyo ámbito de acción es nacional, seccional o sectorial (Ministerio del Ambiente, 2010).

Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire (NECA)

La Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire, es una norma técnica que debe aplicarse de manera obligatoria en el Ecuador para evaluar el grado de contaminación atmosférica, cuyo propósito es preservar la salud de la población.

La NECA define a la contaminación como: “la presencia de sustancias en la atmósfera, que resultan de actividades humanas o de procesos naturales, presentes en concentración suficiente, por un tiempo suficiente y bajo circunstancias tales que interfieren con el confort, la salud o el bienestar de los seres humanos o del ambiente” (Ministerio del Ambiente, 2011).

Es importante señalar que los contaminantes considerados por la Norma como contaminantes comunes son: partículas sedimentales, material particulado de diámetro aerodinámico menor a 10 micrones (PM10) y menor a 2.5 micrones (PM2.5), dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO) y ozono (O₃). Es importante señalar que la actual normativa también considera al benceno, cadmio y mercurio inorgánico como contaminantes no convencionales con efectos tóxicos y/o cancerígenos. (Ministerio del Ambiente, 2011).

La Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire Ambiente es “publicada como parte constituyente del Texto Unificado de la Legislación ambiental Secundaria (Libro VI de la Calidad Ambiental, Anexo 4), cuya versión vigente se publicó en el Registro Oficial Nro. 464 del 7 de Junio del 2011” (Ministerio del Ambiente, 2011).

La presente NECA establece:

- Los objetivos de calidad del aire ambiente.

- Los límites permisibles de los contaminantes y contaminantes no convencionales del aire ambiente.
- Los métodos y procedimientos para la determinación de los contaminantes en el aire ambiente.

En este contexto, la misma Organización Mundial de la Salud determina que cada país debe considerar las normas de calidad que protejan la salud de sus habitantes de acuerdo a su realidad social.

Al ser la NECA una norma técnica de aplicación obligatoria en el Ecuador, su objetivo principal es preservar la salud de las personas, la calidad del aire ambiente, el bienestar de los ecosistemas y del ambiente en general. Para cumplir con este objetivo, esta norma establece los límites máximos permisibles de contaminantes en el aire ambiente a nivel de suelo. La norma también provee los métodos y procedimientos destinados a la determinación de las concentraciones de contaminantes en el aire ambiente (Ministerio del Ambiente, 2011).

Esta norma establece los límites máximos permisibles de concentraciones de contaminantes criterio y contaminantes no convencionales, a nivel de suelo en el aire ambiente. La norma establece la presente clasificación en la *Tabla No 1*: (Ministerio del Ambiente, 2011).

- Norma de calidad de aire ambiente
- Contaminantes del aire ambiente
- Normas generales para concentraciones de contaminantes criterio en el aire ambiente
- Planes de alerta, alarma y emergencia de la calidad del aire
- Métodos de medición de concentración de contaminantes criterio del aire ambiente
- Normas generales para concentraciones de contaminantes no convencionales en el aire ambiente

- Métodos de medición de concentración de contaminantes no convencionales del aire ambiente
- De las molestias o peligros inducidos por otros contaminantes del aire.

Tabla No. 1 Concentraciones de contaminantes como criterio que define los niveles de alerta, de alarma y de emergencia en la calidad del aire

Contaminante y Período de Tiempo	Alerta	Alarma	Emergencia
Ozono Concentración promedio en ocho horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	200	400	600
Dióxido de Nitrógeno Concentración promedio en una hora ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	1000	2000	3000
Dióxido de Azufre Concentración promedio en veinticuatro horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	200	1000	1800
Material particulado PM 10 Concentración en veinticuatro horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	250	400	500
Material Particulado PM 2.5 Concentración en veinticuatro horas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	150	250	350

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire, (Ministerio del Ambiente, 2011).

1.5.3 Marco Conceptual

AIRE.- “O también aire ambiente, es cualquier porción no confinada de la atmósfera, y se define como mezcla gaseosa cuya composición normal es, de por lo menos, veinte por ciento (20%) de oxígeno, setenta y nueve por ciento (79%) nitrógeno y proporciones variables de gases inertes y vapor de agua, en relación volumétrica” (Ministerio del Ambiente, 2010).

CALIDAD AMBIENTAL.- “Conjunto de indicadores que reflejan las condiciones de los recursos naturales y/o del ambiente urbano “ (Ministerio del Ambiente, 2010)). O también entendido como “Indicador del grado de adecuación del medio ambiente con las necesidades de vida de los organismos vivos, en especial del hombre” (Camacho, A y Ariosa, L, 2000).

CARGA CONTAMINANTE.- “Masa de un contaminante específico que ha sido descargada en el ambiente, en un período determinado” (Ministerio del Ambiente, 2010) o también “cantidad de contaminante que se encuentran en los diferentes medios (suelos, agua, atmósfera), o que es liberada a los mismos en una unidad de tiempo” (Camacho, A y Ariosa, L, 2000)”.

CONTAMINACIÓN.- “Es la presencia en el ambiente de sustancias, elementos, energía o combinación de ellas, en concentraciones y permanencia superiores o inferiores a las establecidas en la legislación vigente” (Ministerio del Ambiente, 2010). También se considera un cambio perjudicial en las características químicas, físicas y biológicas de un ambiente o entorno. Afecta o puede afectar la vida de los organismos y en especial la humana.” (Ecoestrategia, 2009).

CONTAMINANTE.- “Cualquier elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o biológico, energías, radiaciones, vibraciones, ruidos, o combinación de ellos; que causa un efecto adverso al aire, agua, suelo, recursos naturales, flora, fauna, seres humanos, a su interrelación o al ambiente en general” (Ministerio del Ambiente, 2010)

CONTAMINACIÓN DEL AIRE.- “La presencia de sustancias en la atmósfera, que resultan de actividades humanas o de procesos naturales, presentes en concentración suficiente, por un tiempo suficiente y bajo circunstancias tales que interfieren con el confort, la salud o el bienestar de los seres humanos o del ambiente” (Ministerio del Ambiente, 2010)

CONTAMINANTES DEL AIRE.- “Cualquier sustancia o material emitido a la atmósfera, sea por actividad humana o por procesos naturales, y que afecta adversamente al hombre o al ambiente” (Ministerio del Ambiente, 2010)

CONTAMINANTES COMUNES DEL AIRE.- “Contaminantes del aire para los cuales se especifica un valor máximo de concentración permitida, a nivel del suelo, en el aire ambiente, para diferentes períodos de tiempo, según la normativa aplicable” (Ministerio del Ambiente, 2010).

CONTAMINANTE PELIGROSO DEL AIRE.- “Son aquellos contaminantes del aire no contemplado en las normas de calidad del aire para contaminantes comunes, que pueden presentar una amenaza de efectos adversos en la salud humana o en el ambiente. Algunos de estos contaminantes, pero que no se limitan a los mismos, son asbesto, berilio, mercurio, benceno, cloruro de vinilo” (Ministerio del Ambiente, 2010).

CONTROL AMBIENTAL.- Es la vigilancia, inspección y aplicación de medidas para conservar, mantener, reducir o recuperar características ambientales apropiadas para la conservación y mejoramiento de las formas de vida y evitar la contaminación de las mismas (Ministerio del Ambiente, 2010) (Ecoestrategia, 2009).

DIÁMETRO AERODINÁMICO.- “Para una partícula específica, es el diámetro de una esfera con densidad unitaria que se sedimenta en aire quieto a la misma velocidad que la partícula en cuestión” (Ministerio del Ambiente, 2010)

EMISIÓN.- “Descarga directa o indirecta de energía, o de sustancias o materiales en cualquiera de sus estados físicos” (Camacho, A y Ariosa, L, 2000). “La descarga de sustancias en la atmósfera. Para propósitos de la norma de calidad del aire, la emisión se refiere a la descarga de sustancias provenientes de actividades humanas” (Ministerio del Ambiente, 2010)

ENTIDAD AMBIENTAL DE CONTROL.- “Es la Autoridad Ambiental Nacional, el gobierno seccional autónomo en cuyo favor se ha descentralizado atribuciones de control ambiental correspondientes a la autoridad ambiental nacional, o los organismos del SNDGA o las instituciones integrantes del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Ambiental en su

respectivo ámbito de competencias sectoriales o por recursos naturales” (Ministerio del Ambiente, 2010).

EPISODIO CRÍTICO DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE.- “Es la presencia de altas concentraciones de contaminantes comunes del aire y por períodos cortos de tiempo, como resultado de condiciones meteorológicas desfavorables que impiden la dispersión de los contaminantes previamente emitidos” (Ministerio del Ambiente, 2010).

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL.- “Son estudios técnicos que proporcionan antecedentes para la predicción e identificación de los impactos ambientales. Además describen las medidas para prevenir, controlar, mitigar y compensar las alteraciones ambientales significativas” (Ministerio del Ambiente, 2010)“Recopilación y valoración de informes sobre las características físicas, ecológicas, económicas y sociales de un área o región específica, así como de los planes y proyectos que se pretende ejecutar en la misma, de forma tal que se minimicen los impactos negativos sobre el medio ambiente” (Camacho, A y Ariosa, L, 2000).

EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL.- “Es el procedimiento administrativo de carácter técnico que tiene por objeto determinar obligatoriamente y en forma previa, la viabilidad ambiental de un proyecto, obra o actividad pública o privada. Tiene dos fases; el estudio de impacto ambiental y la declaratoria de impacto ambiental. Su aplicación abarca desde la fase de pre factibilidad hasta la de abandono o desmantelamiento del proyecto, obra o actividad pasando por las fases intermedias” (Ministerio del Ambiente, 2010)

MODELO DE DISPERSIÓN.- “Técnica de investigación que utiliza una representación matemática y física de un sistema, en este caso el sistema consiste de una o varias fuentes fijas de emisión, de las condiciones meteorológicas y topográficas de la región, y que se utiliza para predecir la(s) concentración(es) resultante(s) de uno o más contaminantes emitidos” (Ministerio del Ambiente, 2010).

MONITOREO.- “Es el proceso programado de coleccionar muestras, efectuar mediciones, y realizar el subsiguiente análisis y registro” (Ministerio del Ambiente, 2010). Es igual a vigilancia ambiental; “Medición uniforme y observación del medio ambiente en forma

continuada o frecuente que, por lo general, tiene fines de prevención y control” (Camacho, A y Ariosa, L, 2000).

NORMA DE CALIDAD DE AIRE.- “Es el conjunto de valores establecidos como límite máximo permisible de concentración, a nivel del suelo de un contaminante del aire durante un tiempo promedio de muestreo determinado, de- finido con el propósito de proteger la salud y el ambiente” (Ministerio del Ambiente, 2010).

NORMA DE EMISIÓN.- “Es el valor que señala la descarga máxima permitida de los contaminantes del aire” (Ministerio del Ambiente, 2010).

RED DE MONITOREO.- “Conjunto articulado de equipos e instrumentos destinados a la medición de la Concentración de Contaminantes” (Ministerio del Ambiente, 2010)

CAPITULO II

MARCO METODOLÓGICO

La información requerida para la investigación se adquirió de las siguientes fuentes:

Los valores de la calidad del aire del DMQ se obtuvieron de los informes en los años comprendidos entre 2005 y 2017; emitidos por la Secretaría del Ambiente del DMQ.

La Geoinformación (Shapefiles del DMQ y sus parroquias) necesaria para la elaboración de los mapas de la calidad del aire del DMQ se obtuvo de las plataformas virtuales del Municipio del DMQ, con el fin de trabajar sobre geoinformación validada por la Alcaldía.

La investigación se desarrolló en tres etapas complementarias entre sí, que son las siguientes.

2.1 PRIMERA ETAPA DE LA METODOLOGÍA

Se realizó la compilación, descripción y análisis sobre la normativa internacional (Guía de la calidad del aire de la OMS) y la normativa nacional: Código Ambiental, el Plan Nacional de la Calidad del Aire y la Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire que es la que determina los valores máximos de contaminación permisibles, sin afectación a la salud humana.

2.2 SEGUNDA ETAPA DE LA METODOLOGÍA

Se realizó el trabajo de campo para obtener la información de las estaciones de monitoreo indicadas en la *Tabla No 2*. Estas están distribuidas en la ciudad y bajo el control de la Secretaría del Ambiente del DMQ.

En la *Tabla No 2*, Color hace referencia a la línea de tendencia de contaminación en los gráficos de los resultados.

Tabla No. 2 Estaciones de monitoreo del DMQ y contaminantes monitoreados.

Estación	Nomenclatura	Color	Coordenadas		Contaminantes				
			X	Y	NO ₂	O ₃	SO ₂	PM 2,5μ	PM 10μ
Carapungo	Car	Morado	783916	9988754	x	x	x	x	x
Cotocollao	Cot	Azul	778346	9987709	x	x	x	x	
Jipijapa	Jip	Rojo	780264	9981931	x	x	x	x	x
Belisario	Bel	Amarillo	779150	9979719	x	x	x	x	
Centro	Cen	Celeste	776922	9975294	x	x	x	x	
El Camal	Cam	Negro	776921	9971975	x	x	x	x	
Guamani	Gua	Café	772309	9963033	x	x			x
Los Chillos	Chi	Verde	782469	9966441	x	x	x		
Tumbaco	Tum	Rosado	789174	9976398		x	x		x
Tababela	Tab	Anaranjado	791876	9985211					x
San Antonio de Pichincha	Sap	Plomo	784072	9998973				x	x

Fuente: Informes de la calidad del Aire del DMQ (2005 – 2017); Elaborado por: Carlos Vinueza Arguello, 2018

Además, se sistematizó la información sobre la calidad del aire del DMQ en cada estación de monitoreo del 2005 al 2017.

Sistematización de la información de las estaciones de monitoreo

Como ya se ha manifestado, la información utilizada en esta investigación proviene de los archivos de datos tomados en los puntos de monitoreo de la Secretaría de Ambiente. Esta funciona a través de políticas, tanto para la gestión municipal como para la ciudadanía, que prioricen la prevención antes que la sanción, promuevan una cultura de buenas prácticas ambientales y generen la participación activa de todos los sectores de la sociedad” (Secretaria del Ambiente, 2017).

La sistematización de la información para observar la contaminación en el DMQ, fue a partir de los datos históricos publicados por la Secretaría del Ambiente en su portal web. Las estaciones de monitoreo con las que se trabajó fueron, las que se describen en la *Tabla No 2*. El periodo analizado fue entre el 2005 y 2017 y los contaminantes analizados fueron: Material Particulado (2.5 y 10 μ) Ozono, Dióxido de nitrógeno y Dióxido de azufre.

Procesamiento de los datos para la valoración anual y mensual de la contaminación.

El proceso para la obtención de datos que permita la valoración anual de la contaminación para observar las tendencias de la contaminación en función del tiempo en cada estación fue el siguiente:

1. Se encontró los datos necesarios dentro de los informes de calidad del aire de la Secretaria de Ambiente, en cualquier formato como por ejemplo la información de la *Tabla No 3*.

Tabla No. 3 Ejemplo de información en formato pdf de las estaciones de monitoreo del año 2005.

Concentración en 24 horas de material particulado fino PM_{2.5} en ug/m³

ESTACION BELISARIO (BEL)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	37.45		26.23	25.49	17.03	18.68	9.23	9.51	34.76	38.50	40.09	47.18
2	29.52	20.02	24.66	27.44	20.10	18.66	7.28		24.80	30.68	37.90	32.40
3	23.77		21.06	22.35	20.08	22.50	9.79		16.92	29.70	27.36	45.31
4		18.88	22.82	18.30	20.63	22.11	18.26		17.86	31.94	24.27	38.55
5	19.71	14.87	26.83	17.29	21.09	17.14	19.47	13.16	20.47	31.54		21.95
6	21.24	10.21	20.57	21.17	24.21	17.21	19.77	14.52	25.33	29.62		21.84
7	20.83	11.86	15.99	19.68	27.76	19.88	7.98	14.82	24.94	37.15		29.81
8	17.43	11.36	18.86	20.68	30.89	26.12	8.05	12.06	25.63	38.22		30.74
9	17.65	19.05	21.00	17.31	18.37	27.49	8.27	13.90	23.09	34.34		34.22
10	16.51	21.44	19.50	13.47	19.54	22.45	6.45	14.25	16.56			37.97
11	18.11	19.91	23.46	16.60	14.77	21.91	8.99	16.34	9.51			25.79
12	17.07	16.90	23.43	18.36	8.30	16.51	12.02	20.32	16.97	36.87	23.40	33.57
13	21.65	14.58	18.29	18.61	16.15	18.91	21.10	30.91	28.14	36.22	16.82	32.14
14	23.61	16.10	26.47	11.98	17.30	20.35	20.50	37.36	32.74	27.77	21.76	29.63
15	21.49	17.28	25.88	12.23	16.37	18.31	18.52	30.95	31.07	29.00	30.98	33.75
16	13.53	12.11	19.87	9.34	18.29	8.66	20.95	27.75	22.03	22.98	30.11	34.30
17	17.92	17.44	20.85	10.97	22.25	9.54	19.16	28.59	21.78	22.28	27.53	28.66
18	17.54	23.18		16.56	24.62	11.52	10.63	27.40	12.15	31.53	30.33	24.88
19	17.59	20.93	21.22	19.73	23.23	12.47	17.74	20.02	18.34	33.26	31.28	30.64
20	17.45	18.57	20.18	23.27	23.06	12.54	17.45	10.21	37.59	30.39	30.82	31.89
21	18.94	25.53	19.25	20.31	22.08	17.75	10.11	24.65	46.61	34.80	33.63	34.58
22	22.40	27.51	23.49	20.97	15.25	19.54	9.07	40.55	47.77	37.91	34.98	34.64
23	16.01	23.65	22.15	21.77		17.99	6.40	46.75	44.15	37.58	29.69	27.51
24	13.92	22.09	13.99	18.65	18.96	8.95	9.08	44.47	41.41	35.52	32.52	24.72
25	20.59	19.99	14.63	12.95	16.96	8.39	8.67	27.97	34.44	28.16	38.13	17.29
26	23.23	21.89	14.46	16.60	17.55	9.28	7.07	37.66	28.16	27.30	40.77	17.79
27	18.62	19.15	14.51	22.72	12.08	16.20	7.17	36.69	29.23	25.38	33.28	27.10
28	23.12	21.05	19.84	22.20	11.03	16.92	8.05	31.37	30.09	28.25	42.53	35.83
29	20.91		21.14	18.57	9.71	21.04	7.47	24.93	25.76	29.04	43.26	26.05
30	17.69		20.30	20.07	11.79	20.30	8.01	36.31	34.04	24.17	48.15	36.24
31	20.80		22.71		12.06		6.35	35.06		34.94		38.01
MES	20.21	18.67	20.79	18.52	18.38	17.31	11.91	26.02	27.41	31.55	32.59	31.13
AÑO	22.68											

Fuente: Secretaria de Ambiente, 2005.

2. Transcribir la información necesaria para la ejecución del análisis a formato Excel. En la *Tabla No 4* se puede observar como ejemplo, los datos para MP 2.5, para la Estación Belisario Quevedo, que coinciden con los datos promedios mensuales seleccionados de la *Tabla No 3*.

3. Al organizar la información de esta forma se obtiene los datos promedios mensuales y anuales

Tabla No. 4 Resumen de valoración de contaminantes de la estación Belisario Quevedo del 2005 (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Meses	MP10	MP2.5	O ₃	NO ₂	SO ₂
Enero	74.44	20.21	19.3	19.59	16.43
Febrero	46.08	18.67	29.81	28.58	25.98
Marzo	67.33	20.79	32	36.38	39.03
Abril	58.45	18.52	29.53	29.54	28.31
Mayo	68.39	18.38	28.92	30.97	32.29
Junio	75.23	17.31	28.35	26.65	29.3
Julio	52.14	11.91	39.71	30.78	16.19
Agosto	65.17	26.02	45.6	28.96	11.12
Septiembre	65.31	27.41	50.67	37.77	17.55
Octubre	77.46	31.59	48.03	50.47	17.73
Noviembre	78.09	32.59	47.06	48.12	19.78
Diciembre	56.7	31.13	46.91	47.74	17.38
<u>Anual</u>	65.40	22.71	37.16	34.63	22.59

Fuente: CORPAIRE, 2006; Elaborado por: Carlos Vinueza Arguello, 2018.

4. Luego se procedió a elaborar las tablas con los valores anuales de cada estación Como ejemplo, en la *Tabla No 5* se observa el dato anual del contaminante MP 2.5 del año 2005, extraído de la *Tabla No 4*.

En las tablas de resumen de promedios anuales se agregaron los límites de contaminación establecidos por las Guías de la Calidad del Aire de la OMS y la Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire (NECA). Y se aplicó la metodología de la semaforización para identificar los valores que excedan las normas, es decir, los valores que exceden la NECA y la Guía de la Calidad del Aire OMS se pintaron de rojo, mientras que los valores que solo incumplen

la internacional, y a la vez estén dentro de la NECA se pintaran de amarillo; mientras que aquellos valores que no exceden ninguna norma se pintan de verde.

Tabla No. 5 Resumen de promedios anuales de Material Particulado de 2,5 μ (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$), por estación para el periodo 2005 al 2017.

M.P. 2.5	Años (2005 -2017)												
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Belisario	22.7	22.9	23.1	19.6	20.7	18.4	16.0	16.0	17.0	16.6	15.6	17.1	16.0
Cotocollao	21.5	20.0	17.6	16.3	19.6	16.4	14.0	15.4	17.0	18.0	16.9	18.4	16.4
Los Chillos										16.1	17.0	16.4	14.2
Guamani										17.4	20.2	19.4	19.0
Centro	22.8	22.6	22.9	22.0	21.5	19.5	17.5	18.2	18.0	17.9	15.9	17.4	17.7
El Camal	30.1	26.7	25.9	23.8	25.7	23.5	21.5	20.6	21.0	21.7	22.4	20.8	21.8
Carapungo	22.4	18.6	20.5	16.6	20.2	18.7	17.0	21.8	18.0	15.6	20.8	20.5	19.4
Tumbaco										14.9	15.4	15.2	14.8
San Antonio										16.1	17.3	16.1	16.2
<i>OMS</i>	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
<i>NECA</i>	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

Fuente: Informes de la calidad del Aire del DMQ (2005 – 2017); Elaborado por: Carlos Vinueza Arguello, 2018.

5. Luego la información fue ordenada por contaminante y tabulada en función del Mes y la Estación de monitoreo, como el ejemplo indicado en la *Tabla No 6*. En esta tabla se puede observar el promedio mensual de los 13 años de estudio.

Tabla No. 6 Resumen de promedios mensuales de Material Particulado de 2,5 μ (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$), por estación para el periodo 2005 al 2017.

Material Particulado de 2.5 μ (MP2.5)												
Estación de monitoreo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Belisario	19.33	19.44	19.79	19.59	18.66	15.85	13.78	16.74	18.06	22.21	23.63	20.43
Los Chillos	17.40	17.20	16.94	16.90	16.89	14.20	13.96	15.02	18.61	18.96	18.27	17.99
Centro	20.09	19.99	20.13	20.23	19.30	17.30	15.38	17.32	19.76	22.93	24.14	20.07
Cotocollao	17.51	16.75	16.16	17.15	16.89	16.01	14.51	17.59	18.97	19.73	20.90	16.83
El Camal	24.09	23.31	24.23	24.15	23.53	22.82	22.18	24.65	29.25	28.26	24.37	23.50
Carapungo	17.35	16.76	17.28	17.20	17.93	19.25	18.33	20.55	23.89	21.56	21.74	18.61
<i>OMS</i>	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
<i>NECA</i>	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

Fuente: Informes de la calidad del Aire del DMQ (2005 – 2017); Elaborado por: Carlos Vinueza Arguello, 2018.

Procesamiento de los datos para la valoración horaria de la contaminación.

Los datos horarios solo se usaron para obtener el promedio de pico hora.

1. Haciendo uso de la información entregada en datos horarios se pudo obtener el promedio de contaminación de cada hora del día, esto se lo realizó haciendo uso del software Excel, para la obtención de estos datos fue necesario obtener, como ejemplo, la *Tabla No 7*, en función de estación de monitoreo y hora.
2. A partir de estas tablas se obtuvieron gráficos que permiten identificar la hora en que se incrementa o disminuye la contaminación del aire en el DMQ.

Tabla No. 7 Resumen de datos horarios de Material Particulado 2,5 μ (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Tabla resumen de datos horarios de Material Particulado 2,5 μ																								
Estación de Monitoreo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
<u>COTOCOLLAO</u>	16.0	16.0	14.3	13.8	14.2	15.9	22.8	26.7	25.7	24.1	20.7	17.1	14.5	13.4	13.0	12.6	12.3	13.1	13.2	13.6	14.8	15.2	14.3	14.0
<u>CARAPUNGO</u>	17.8	16.6	15.7	15.7	16.5	19.2	31.0	32.3	20.8	17.6	16.1	15.0	15.2	16.5	17.3	17.8	17.9	20.0	21.3	19.3	17.5	16.4	15.8	17.0
<u>BELISARIO</u>	16.1	15.5	13.7	12.8	12.7	13.1	16.8	24.5	28.0	23.9	19.5	16.8	14.5	13.1	14.5	15.4	16.5	18.2	18.8	18.5	18.0	16.6	15.0	13.4
<u>EL CAMAL</u>	22.7	21.2	18.5	17.4	17.6	20.1	34.4	43.8	36.0	24.8	20.7	18.5	16.5	15.3	15.7	15.8	15.5	16.4	18.9	21.0	23.7	23.6	21.8	20.2
<u>CENTRO</u>	17.8	19.1	16.6	15.7	15.2	16.1	22.3	29.3	27.2	19.9	16.8	15.9	15.3	14.5	15.1	15.2	15.0	15.9	17.8	18.8	19.7	19.2	17.6	16.3
<u>LOS CHILLOS</u>	19.8	17.5	16.6	16.0	16.1	17.2	20.2	20.6	20.3	20.0	17.2	15.8	12.9	12.2	12.2	12.8	13.8	15.2	16.6	16.0	16.6	16.9	16.9	15.8
<u>OMS</u>	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
<u>NECA</u>	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

Fuente: Informes de la calidad del Aire del DMQ (2005 – 2017); **Elaborado por:** Carlos Vinueza Arguello, 2018.

3. Debido a que los gráficos generados a partir de las tablas horarias indican tendencias similares, se pudo sumar los promedios de contaminación de todas las estaciones, para elaborar una tabla resumen de los promedios de contaminación horaria por contaminante, en la cual se pueda traslapar las gráficas y poder así relacionar los contaminantes entre sí.

2.3 TERCERA ETAPA DE LA METODOLOGÍA

A partir de la recopilación y análisis de la información de las etapas anteriores, se cuantificó la contaminación del aire en el DMQ, lo que permitió realizar mapas de contaminación del aire por contaminante e incluso un mapa de peligrosidad del aire que da cuenta de la calidad del aire en el DMQ.

Este mapeo está dividido en la elaboración de 2 tipos de mapas; El primer tipo está enfocado en la representación de datos promediados de cada contaminante en el periodo de 2005 a 2017. El segundo tipo es un mapeo de ponderación según la peligrosidad de los contaminantes del aire para el ser humano, este es un intento de presentar un producto final, un mapa de la calidad del aire del DMQ.

La realización del mapeo de un promedio de 13 años (2005-2017) es obtener un análisis exacto de los puntos de localización de cada contaminante, eliminando cualquier evento particular dado en un año específico. En la elaboración de este mapeo se obtuvo la contaminación de cada estación de monitoreo y su relación con las demás estaciones. Este se pintara de acuerdo a la metodología del semáforo utilizada en las tablas de promedios anuales, mensuales y horarios.

El Mapeo de la calidad del aire presenta una serie de conflictos debido a la diferencia de límites permitidos y su peligrosidad hacia la salud humana, esto vuelve necesaria ponderación de todos los contaminantes monitoreados, en el caso de este mapa la ponderación se realizó mediante un criterio de escala relativa, en un rango del 1 al 5 según la peligrosidad hacia la salud de la población, siendo 1 una afectación a la salud muy leve (Tos o Nauseas por mal olor) y 5 una afectación drástica como causar enfermedades catastróficas (Cáncer o Enfermedad Crónica Pulmonar). Realizada la ponderación se pudo obtener un solo mapa de la calidad del aire del DMQ.

2.4. METODOLOGÍA DE MAPEO

2.4.1 Metodología de Mapeo de la calidad del aire por contaminante.

Análisis de variables.

Parroquias del DMQ: Las parroquias son necesarias de mapear para dar un sentido de localización de la contaminación, al observar el mapa nos permite inferir que contaminación hay en cada parroquia.

Relieva topográfico: En el caso del DMQ, al ser una ciudad ubicada en la Sierra, donde existen relieves muy característicos de la región, es necesario contrastar la topografía existente en el área de estudio, con el fin de poder identificar y ubicarnos mejor en el terreno que se está estudiando.

Ubicación de las estaciones de monitoreo: La ubicación de las estaciones de monitoreo es fundamental para poder asociar el dato de contaminación con un punto en el espacio, en el caso de la red de monitoreo del DMQ, podemos observar una distribución de las estaciones de monitoreo que permite identificar valores en todos los sectores poblados del DMQ, al ser el área de afectación captada la de 5 km de radio a partir de la ubicación de la estación de monitoreo.

Datos promediales (2005-2017) de la contaminación del DMQ: Los datos de contaminación fueron promediados a raíz de tablas generadas con la información obtenida de la Secretaría de Ambiente del DMQ. Los datos en el mapeo son necesarios para determinar la contaminación existente en cada estación de monitoreo y a partir de esta poder generar el mapeo de la contaminación del aire.

Pasos para la elaboración del mapeo.

A. Tratamiento de la información.

1. El primer paso en el tratamiento de la información es el promediar los datos anuales de contaminación de los 13 años comprendidos entre 2005 a 2017.

2. Se elaboró una tabla en función de las estaciones de monitoreo con cada uno de los contaminantes, como lo es la *Tabla No 8*.

Tabla No. 8 Estaciones con promedios más altos de contaminación (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$), promedio para el periodo 2005 al 2017.

Estaciones	Contaminantes				
	MP 10	MP 2,5	O ₃	NO ₂	SO ₂
Belisario	34.09	18.58	77.41	29.60	7.44
Cotocollao	37.19	17.45	66.03	21.55	4.24
Jipijapa	30.33	24.44	47.32	35.48	14.17
Los Chillos	27.93	15.93	68.68	23.82	8.00
Guamani	42.20	19.00	75.59	18.35	3.51
Centro	41.09	19.50	70.35	29.71	6.12
El camal	40.77	23.84	61.03	32.01	12.19
Carapungo	50.21	19.22	74.78	18.10	4.17
Tumbaco	33.52	14.80	71.64	18.50	3.95
Tababela	32.32	21.90	No Aplica	14.00	No Aplica
San Antonio	48.60	16.20	No Aplica	15.00	No Aplica
<u>OMS</u>	25.00	10.00	100.00	40.00	20.00
<u>NECA</u>	50.00	15.00	100.00	40.00	125.00

Fuente: Informes de la calidad del Aire del DMQ (2005 – 2017); **Elaborado por:** Carlos Vinuesa Arguello, 2018.

- B. Se vinculó la *Tabla No 8* con la localización de las estaciones de monitoreo. En la *Tabla No 8* se aumentó las coordenadas (X; Y), de esta manera se puede cargar la tabla y a partir de esta generar los puntos de localización de las estaciones de monitoreo, para realizar esto es necesario seguir los siguiente pasos.

1. Se cargó la *Tabla No 8* con las coordenadas ya ingresadas.
2. Se visualizó los puntos, utilizando la herramienta Display XY Data.
3. Se exportó como punto en formato shapefile y paso seguido cargar el shapefile ya de las estaciones de monitoreo con los contaminantes asociados a cada estación.

C. Interpolación de los datos de contaminación entre las estaciones de monitoreo.

La interpolación es la obtención de nuevos puntos, partiendo del conocimiento de puntos conocidos previamente, en los sistemas de información geográfica se utilizan las herramientas de interpolación con el fin de generar una superficie que indique las variaciones entre los diferentes puntos; por ejemplo la obtención de un mapa de temperatura, con el uso de la herramienta de interpolación IDW se puede obtener un mapa de temperatura a partir de puntos de toma de muestras.

Para la elaboración de este mapeo se utilizó la herramienta de interpolación IDW, esta nos permite obtener un valor estimado entre los puntos de contaminación ya conocidos.

La herramienta IDW (Ponderación de distancia inversa) utiliza un método de interpolación que estima los valores de las celdas calculando promedios de los valores de los puntos de datos de muestra en la vecindad de cada celda de procesamiento. Cuanto más cerca está un punto del centro de la celda que se está estimando, más influencia o peso tendrá en el proceso de cálculo del promedio (ESRI, 2016).

La utilización de la herramienta de Interpolación IDW, se debe abrir el ArcToolBox ubicarse en Spatial Analyst Tools y buscar las herramientas de Interpolate, seleccionando IDW. Abierta la herramienta IDW, es necesario ingresar el shapefile de los puntos ya conocidos y seleccionar el atributo de contaminación que se desea mapear.

D. Presentación y arreglo del mapeo.

1. Realizada la interpolación se designa un rango en el cual se quiera presentar la contaminación, en este caso se seleccionó 5 intervalos para poder asignar en la leyenda un parámetro de contaminación de más baja, baja, media, alta y más alta.
2. Es necesario brindar un color a cada parámetro de la leyenda, en este caso se seleccionó una semaforización indicando el color más rojizo como más contaminado y el color verde como el de menor contaminación.
3. Se finalizó el mapeo agregando al producto final elementos necesarios para la obtención de un mapa temático.

2.4.2 Metodología de Mapeo de la peligrosidad del aire.

Análisis de variables.

Parroquias del DMQ: Las parroquias son necesarias de mapear para dar un sentido de localización de la contaminación, al observar el mapa nos permite inferir que contaminación hay en cada parroquia.

Relieva topográfico: En el caso del DMQ, al ser una ciudad ubicada en la Sierra, donde existen relieves muy característicos de la región, es necesario contrastar la topografía existente en el área de estudio, con el fin de poder identificar y ubicarnos mejor en el terreno que se está estudiando.

Ubicación de las estaciones de monitoreo: La ubicación de las estaciones de monitoreo es fundamental para poder asociar el dato de contaminación con un punto en el espacio, en el caso de la red de monitoreo del DMQ, podemos observar una distribución de las estaciones de monitoreo que permite identificar valores en todos los sectores poblados del DMQ, al ser el área de afectación captada la de 5 km de radio a partir de la ubicación de la estación de monitoreo.

Valores ponderados: Estos valores fueron obtenidos a partir de los datos promediales (2005-2017) de la contaminación del aire en el DMQ, Los datos de contaminación fueron promediados en base a las tablas generadas con la información obtenida de la Secretaría de Ambiente del DMQ. Estos valores

Pasos para la elaboración del mapeo.

A. Tratamiento de la información.

1. El primer paso en el tratamiento de la información es el promediar los datos anuales de contaminación de los 13 años comprendidos entre 2005 a 2017.
2. Elaborar una tabla en función de las Estaciones de monitoreo con cada uno de los contaminantes.

3. Debido a que los límites de contaminación del aire según la OMS son diferentes para cada contaminante es necesario igualar los valores de contaminación, esto se obtiene realizando el cálculo del mínimo común múltiplo M.C.M (es el número positivo más pequeño que es múltiplo de dos o más números) con los valores del límite permitido de contaminación por la OMS. El M.C.M de los límites de la OMS es 200. Al realizar una regla de 3 simple a todos los promedios anuales de los contaminantes se tiene un valor cuyo límite de permisibilidad es 200, de esta manera se igualan los valores respetando la proporción con sus límites, esto para poderlos promediar juntos sin inconveniente aritmético.
4. En la *Tabla No 9* se presentan los resultados de la multiplicación de los valores de contaminación con el factor necesario para que su límite llegue al M.C.M. =200

Tabla No. 9 Realización de la igualación de variables con el M.C.M=200. (Valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Tabla de igualación de variables con el m.c.m=200.										
Estación	MP 10	MP 2.5	O₃	NO₂	SO₂	MP 10"* X	MP 2.5"* X	O₃"* X	NO₂"* X	SO₂"* X
Belisario	34.09	18.58	77.41	29.60	7.44	340.89	371.62	154.82	147.98	74.40
Cotocollao	37.19	17.45	66.03	21.55	4.24	371.93	349.07	132.05	107.75	42.43
Jipijapa	30.33	24.44	47.32	35.48	14.17	303.26	488.80	94.64	177.38	141.65
Los Chillos	27.93	15.93	68.68	23.82	8.00	279.29	318.50	137.36	119.08	79.98
Guamani	42.20	19.00	75.59	18.35	3.51	422.02	380.00	151.19	91.75	35.06
Centro	32.11	19.50	70.35	29.71	6.12	321.1	390.07	140.70	148.53	61.22
El Camal	40.77	23.84	61.03	32.01	12.19	407.67	476.72	122.05	160.06	121.88
Carapungo	50.21	19.22	74.78	18.10	4.17	502.10	384.48	149.56	90.48	41.74
Tumbaco	33.52	14.80	71.64	18.50	3.95	335.17	296.00	143.28	92.50	39.48
San Antonio	48.60	16.20	62.5	15.00	7.00	486.00	324.00	125.00	75.00	70.00
OMS (Y)	20	10	100	40	20	200	200	200	200	200
X = 200/Y	10	20	2	5	10	10	20	2	5	10

Fuente: Informes de la calidad del Aire del DMQ (2005 – 2017); **Elaborado por:** Carlos Vinueza Arguello, 2018.

5. Se realizó una regla de 3 tres para ponderar el valor de contaminación con su valor de peligrosidad asignado. A cada contaminante se le asignó un valor comprendido del 1 al 5, por su afectación a la población. Como se puede apreciar en la *Tabla No 10* a los contaminantes MP10 y O₃ se les asignó la peligrosidad más alta (5), puesto

que son contaminantes que pueden causar la muerte. Al MP2,5 se le asignó 4 por relacionarse con enfermedades catastróficas, pero en menor fuerza en comparación con el MP10, en cuanto NO₂ y SO₂ se les asignó 3 por tener una disposición a irritar la garganta, causar tos, infección de las vías respiratorias y enfermedades graves pero tratables y curables, y referente a las contaminaciones baja (2) y más baja (1), no se asigna un contaminante puesto a que todos causan una cierta afectación a la salud.

Tabla No. 10 Tabla de valores de ponderación.

Valores de ponderación.						
Peligro	Valor	MP 10	MP 2.5	O ₃	NO ₂	SO ₂
Muy Alto	5	X		X		
Alto	4		X			
Moderado	3				X	X
Bajo	2					
Muy Bajo	1					

Elaborado por: Carlos Vinueza Arguello, 2018.

En la *Tabla No 11* se puede observar la utilización de la tabla de ponderación en los valores de contaminación de las estaciones.

Tabla No. 11 Ponderación de la Peligrosidad de la Calidad del Aire (valores en µg/m³).

PONDERACION DE PELIGROSIDAD DEL AIRE											
Estación de monitoreo	Valores Igualados por m.c.m=200.					Ponderación de peligrosidad					
	MP 10''	MP 2''	O ₃ ''	NO ₂ ''	SO ₂ ''	MP 10	MP 2	O ₃	NO ₂	SO ₂	Peligrosidad
Belisario	340.9	371.6	154.8	148.0	74.4	8.5	9.3	3.9	2.2	1.1	5.0
Cotocollao	371.9	349.1	132.1	107.7	42.4	9.3	8.7	3.3	1.6	0.6	4.7
Jipijapa	303.3	488.8	94.6	177.4	141.7	7.6	12.2	2.4	2.7	2.1	5.4
Los Chillos	279.3	318.5	137.4	119.1	80.0	7.0	8.0	3.4	1.8	1.2	4.3
Guamani	422.0	380.0	151.2	91.8	35.1	10.6	9.5	3.8	1.4	0.5	5.1
Centro	321.1	390.1	140.7	148.5	61.2	8.0	9.8	3.5	2.2	0.9	4.9
El Camal	407.7	476.7	122.1	160.1	121.9	10.2	11.9	3.1	2.4	1.8	5.9
Carapungo	502.1	384.5	149.6	90.5	41.7	12.6	9.6	3.7	1.4	0.6	5.6
Tumbaco	335.2	296.0	143.3	92.5	39.5	8.4	7.4	3.6	1.4	0.6	4.3
San Antonio	486.0	324.0	125.0	75.0	70.0	12.2	8.1	3.0	1.1	1.0	5.1

Fuente: Informes de la calidad del Aire del DMQ (2005 – 2017); Elaborado por: Carlos Vinueza Arguello, 2018.

B. Se vinculó la tabla de peligrosidad obtenida de la *Tabla No 11* con la localización de las estaciones de monitoreo. En la *Tabla No 11* se aumentó las coordenadas (X; Y), de esta manera se puede cargar la tabla y a partir de esta generar los puntos de localización de las estaciones de monitoreo, para realizar esto es necesario seguir los siguiente pasos.

1. Se cargó la *Tabla No 11* con las coordenadas ya ingresadas.
2. Se visualizó los puntos, utilizando la herramienta Display XY Data.
3. Se exportó como punto en formato shapefile y paso seguido cargar el shapefile ya de las estaciones de monitoreo con los contaminantes asociados a cada estación.

C. Interpolación de los datos de contaminación entre las estaciones de monitoreo.

La interpolación es la obtención de nuevos puntos, partiendo del conocimiento de puntos conocidos previamente, en los sistemas de información geográfica se utilizan las herramientas de interpolación con el fin de generar una superficie que indique las variaciones entre los diferentes puntos.

Para la elaboración de este mapeo se utilizó la herramienta de interpolación IDW, esta nos permite obtener un valor estimado entre los puntos de contaminación ya conocidos.

La herramienta IDW (Ponderación de distancia inversa) utiliza un método de interpolación que estima los valores de las celdas calculando promedios de los valores de los puntos de datos de muestra en la vecindad de cada celda de procesamiento. Cuanto más cerca está un punto del centro de la celda que se está estimando, más influencia o peso tendrá en el proceso de cálculo del promedio (ESRI, 2016)

La utilización de la herramienta de Interpolación IDW, se debe abrir el ArcToolBox ubicarse en Spatial Analyst Tools y buscar las herramientas de Interpolate, seleccionando IDW. Abierta la herramienta IDW, es necesario ingresar el shapefile de los puntos ya conocidos y seleccionar el atributo de contaminación que se desea mapear.

D. Presentación y arreglo del mapeo.

1. Realizada la interpolación se designa un rango en el cual se quiera presentar la contaminación, en este caso se seleccionó 5 intervalos para poder asignar en la leyenda un parámetro de contaminación de muy baja, baja, moderada, alta y muy alta.
2. Es necesario brindar un color a cada parámetro de la leyenda, en este caso se seleccionó una semaforización indicando el color más rojizo como más contaminado y el color verde como el de menor contaminación.
3. Se finalizó el mapeo agregando al producto final elementos necesarios para la obtención de un mapa temático.

2.5. OPERACIONALIZACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En el gráfico número 2, se presenta la Operacionalización de la investigación. Mientras que el *Mapa No 1* corresponde al mapa base del Distrito Metropolitano de Quito y la *Figura No 1* representa la ubicación e influencia de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire de la Secretaría de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito.

Gráfico No. 1 Operacionalización de la investigación.

Hipótesis	Objetivos	Variables	Indicadores	Metodologías / Técnicas
<p>La calidad del aire de DMQ caracterizada por la información de los punto de monitoreo de la Secretaría del Ambiente está en armonía con los estándares internacionales de la OMS y los de la NECA.</p>	<p>Objetivo 1.- Caracterizar los índices de la calidad del aire permisibles de la guía de la calidad el aire de la OMS y la NECA en el DMQ.</p>	<p>Índices de la Calidad del aire establecidos por la OMS.</p>	<p>Material Particulado MP 2,5: 10 µg/m³, media anual 25 µg/m³, media de 24 horas MP 10: 20 µg/m³, media anual 50 µg/m³, media de 24 horas</p> <p>Ozono O3: 100 µg/m³, media de ocho horas</p>	<p>1.- Se describió cada indicador en una unidad de medida y periodo adecuado para poder contrastar los índices de la calidad del aire de la OMS y la NECA, con los datos obtenidos de las estaciones de monitoreo.</p> <p>2.- Se indicó rangos de contaminación que afectan a la salud de la población.</p>
		<p>Índices de la Calidad del aire establecidos por la NECA.</p>	<p>Dióxido de Nitrógeno NO2: 40 µg/m³, media anual 200 µg/m³, media de una hora</p> <p>Dióxido de Azufre SO2: 20 µg/m³, media de 24 horas 500 µg/m³, media de 10 minutos</p>	
	<p>Objetivo 2.- Sistematizar la información de las estaciones de monitoreo de calidad del aire en el periodo 2005 -2017.</p>	<p>Calidad del aire, obtenida de las estaciones de monitoreo de DMQ, pertenecientes a la Secretaría del Ambiente.</p>	<p>Datos de contaminación (µg/m3): Material Particulado. Ozono. Dióxido de Nitrógeno. Dióxido de Azufre.</p>	

		Estaciones de monitoreo y su ubicación.	Tipos: Automática Estaciones: Carapungo, Cotocollao, Jipijapa, Belisario, El Camal, Centro, Guamaní, Tumbaco y Los Chillos.	1.- Se ubicó con coordenadas cada estación de monitoreo del aire 2.- Se verificó el tipo de estación de monitoreo y sus equipamientos.
	Objetivo 3.- Analizar el cumplimiento de los parámetros de contaminación del aire permisibles establecidos por la guía de la calidad del aire de la OMS y la NECA.	Parámetros de contaminación del aire.	Material Particulado MP 2,5: 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, media anual 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, media de 24 horas MP 10: 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, media anual 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, media de 24 horas Ozono O3: 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, media de ocho horas Dióxido de Nitrógeno NO2: 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, media anual 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, media de una hora Dióxido de Azufre SO2: 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, media de 24 horas 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, media de 10 minutos	Se realizó un análisis comparativo de la información obtenida de las estaciones de monitoreo de la Secretaría del Ambiente con los valores permitidos por la NECA y la guía de la calidad del aire de la OMS.
		Datos de la calidad del aire fuera de rango de parámetros establecidos por la OMS y la NECA.	Valores: de contaminación del aire fuera de los parámetros establecidos por la guía de la calidad del aire de la OMS y la NECA.	

		Cumplimiento de la guía de la calidad del aire de la OMS y de la NECA.	Cuadro de análisis: de valores y tendencias de contaminación del aire del DMQ.	
Objetivo 4.- Mapear la calidad del aire en el DMQ, con base en la información de los puntos de monitoreo de la Secretaría del Ambiente.		Mapa base del DMQ.	Geoinformación: obtenida de las plataformas del DMQ.	Se utilizó un sistema de información geográfica para la elaboración de mapas aplicables a la temática de la calidad del aire del DMQ.
		Puntos de monitoreo de la calidad del aire.	Coordenadas de la localización: de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire del DMQ.	
		Calidad del aire, obtenida de las estaciones de monitoreo de DMQ.	Simbología (Coropleta), de la calidad del aire por rango, metodología para utilizar degradación de color.	Se asignó a cada contaminante un valor de peligrosidad para realizar una ponderación y obtener una calidad del aire generalizada del DMQ.

Fuente: (Ministerio del Ambiente, 2011) y (Organización Mundial de la Salud, 2005); **Elaborado por:** Carlos Vinuesa Arguello, 2018.

Mapa No. 1 Mapa Base del Distrito Metropolitano de Quito y localización de las estaciones de monitoreo de calidad del aire.

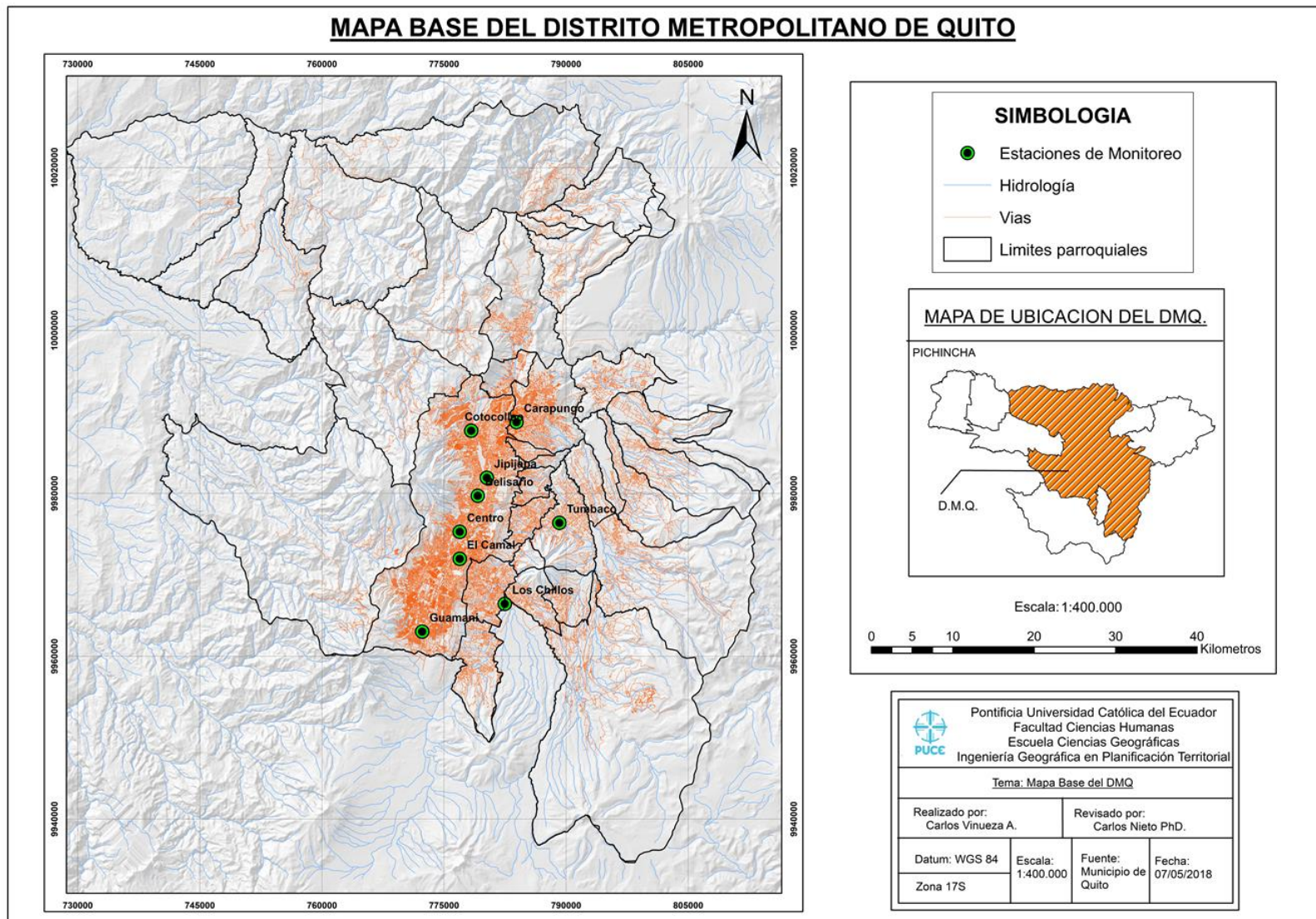
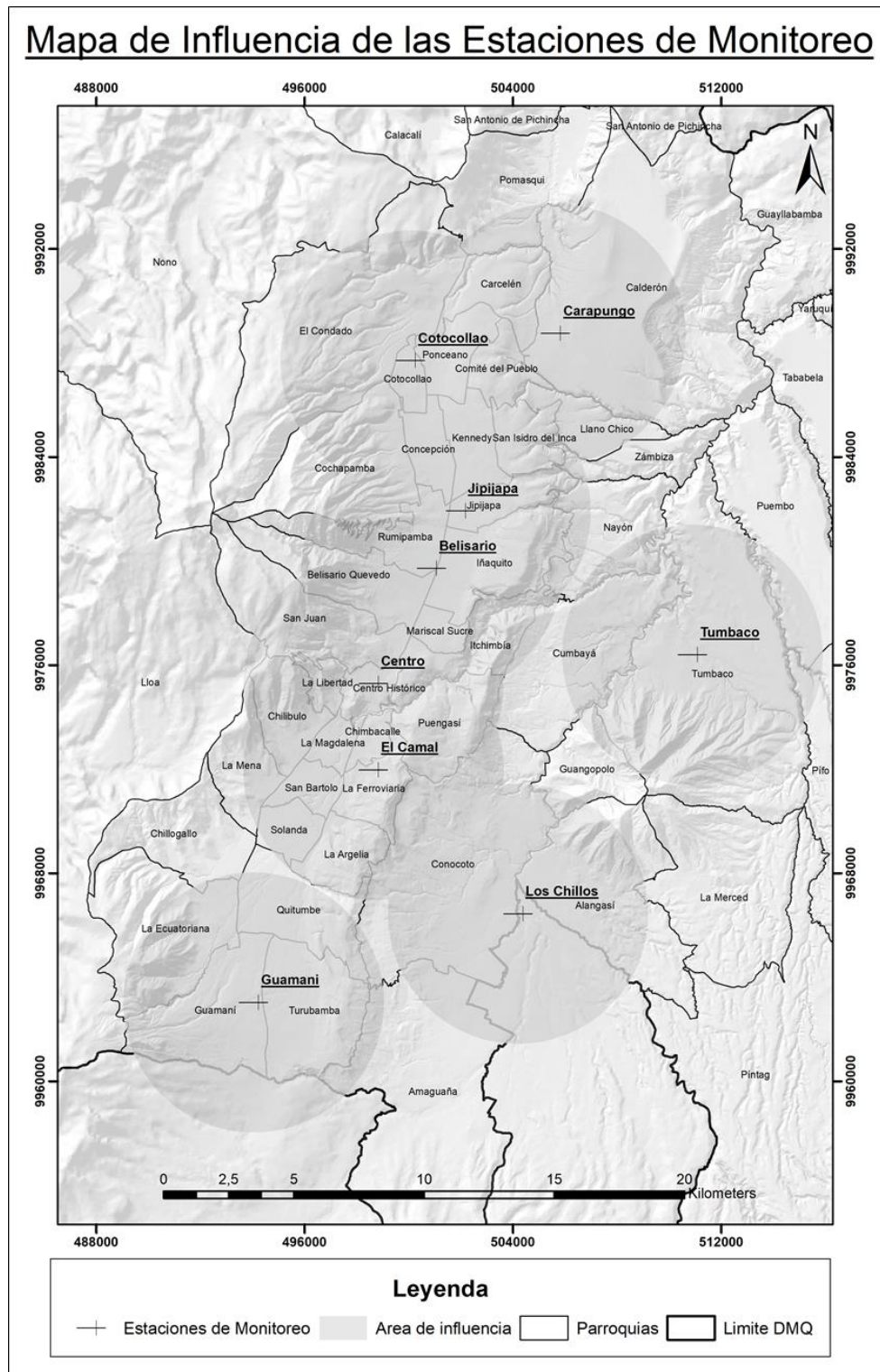


Figura No. 1 Ubicación e influencia espacial de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire.



Fuente: (Secretaria de Ambiente, 2018); **Elaborado por:** Carlos Vinuesa Arguello, 2018.

CAPÍTULO III

RESULTADOS

3.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS ÍNDICES DE LA CALIDAD DEL AIRE PERMISIBLES DE LA GUÍA DE LA CALIDAD EL AIRE DE LA OMS Y LAS NORMATIVAS NACIONALES

Los índices de la calidad del aire son indicadores elaborados para analizar e informar a la población sobre el estado del aire que respira y el posible daño a la salud. Estos indican de manera fácil de interpretar el estado de contaminación del aire en un determinado territorio.

Los índices de contaminación del aire generalmente se fundamentan en cinco contaminantes atmosféricos principales, estos suelen ser los reglamentados por la ley o norma: ozono a nivel del suelo, contaminación por partículas, monóxido de carbono, dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno.

El ozono al nivel del suelo y las partículas en la atmósfera son los dos contaminantes que presentan la mayor amenaza a la salud de las personas. En el caso del DMQ, debido a su peligrosidad son continuamente monitoreados por la Secretaría de Ambiente, para en caso de registrar niveles de riesgo, responder inmediatamente.

3.1.1 Guía de la calidad del aire de la OMS

La Organización Mundial de la Salud entre tantas otras funciones relacionadas con la salud de la población humana mundial se encarga de emitir normas, guías e instructivos que sirven de pautas y aportes para todas las instituciones regionales, nacionales y locales en los proceso de gestión de la calidad de ambiente que comprometa la salud humana. Uno de los aportes de la OMS es la “Guía de la calidad del aire”, que es un documento que contiene los valores límite de contaminación permisibles y cuya de aplicación se da en modo de recomendación para todos los países de las Naciones Unidas (Organización Mundial de la Salud, 2005).

3.1.1.1 Función de la guía de la calidad del aire OMS 2005.

Su función prioritaria es la protección de la salud pública “Las guías de calidad del aire (GCA) de la OMS están destinadas a su uso en todo el mundo, pero se han elaborado para respaldar medidas orientadas a conseguir una calidad del aire que proteja la salud pública en distintas situaciones (Organización Mundial de la Salud, 2005)

Por otra parte, cada país establece normas de calidad del aire para proteger la salud pública de sus ciudadanos, por lo que son un componente importante de las políticas nacionales de gestión del riesgo y ambientales. Las normas nacionales varían en función del enfoque adoptado con el fin de equilibrar los riesgos para salud, la viabilidad tecnológica, los aspectos económicos y otros factores políticos y sociales de diversa índole, que a su vez dependerán, entre otras cosas, del nivel de desarrollo y la capacidad nacional en relación con la gestión de la calidad del aire (Organización Mundial de la Salud, 2005)

En los valores guía recomendados por la OMS se tiene en cuenta esta heterogeneidad y se reconoce, en particular, que cuando los gobiernos fijan objetivos para sus políticas deben estudiar con cuidado las condiciones locales propias antes de adoptar las guías directamente como normas con validez jurídica” (Organización Mundial de la Salud, 2005).

3.1.1.2 Índices recomendados por la OMS para evaluar la calidad del aire.

Material Particulado (MP).

MP 2,5: 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, media anual

25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, media de 24 horas

MP 10: 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, media anual

50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, media de 24 horas

Las pruebas relativas al material particulado (MP) suspendido en el aire y sus efectos en la salud pública coinciden en poner de manifiesto efectos adversos para la salud con las exposiciones que experimentan actualmente las poblaciones urbanas, tanto en los países desarrollados como

en desarrollo. El abanico de los efectos en la salud es amplio, pero se producen en particular en los sistemas respiratorio y cardiovascular. Se ve afectada toda la población, pero la susceptibilidad a la contaminación puede variar con la salud o la edad (Organización Mundial de la Salud, 2005).

Se ha demostrado que el riesgo de diversos efectos aumenta con la exposición, y hay pocas pruebas que indiquen un umbral por debajo del cual no quepa prever efectos adversos en la salud. En realidad, el nivel más bajo de la gama de concentraciones para las cuales se han demostrado efectos adversos no es muy superior a la concentración de fondo, que para las partículas de menos de 2,5 μ (MP2,5) se ha estimado en 3 a 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de aire tanto en los Estados Unidos como en Europa occidental. Las pruebas epidemiológicas ponen de manifiesto efectos adversos del MP tras exposiciones tanto breves como prolongadas (Organización Mundial de la Salud, 2005).

Ozono (O₃)

O ₃ : 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, media de ocho horas

“Desde la publicación de la segunda edición de las guías de calidad del aire de la OMS para Europa, en las que se estableció el valor guía de los niveles de ozono en 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para un promedio diario de ocho horas, es poca la información nueva que se ha obtenido, a partir de estudios de laboratorio o de campo, acerca de los efectos del ozono en la salud. Sin embargo, en estudios epidemiológicos de series cronológicas se ha conseguido un volumen considerable de nuevas pruebas sobre los efectos en la salud. Estos estudios considerados en conjunto han puesto de manifiesto que hay asociaciones positivas, pequeñas pero convincentes, entre la mortalidad diaria y los niveles de ozono, que son independientes de los efectos del material particulado. Se han observado asociaciones análogas tanto en América del Norte como en Europa. Estos últimos estudios de series cronológicas han demostrado que se producen efectos en la salud con concentraciones de ozono por debajo del valor guía anterior de 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, pero no se dispone de pruebas claras de un umbral. Estos resultados, junto con las pruebas obtenidas en estudios tanto de laboratorio como de campo que indican que hay una variación individual

considerable en la respuesta al ozono, ilustran bien la reducción de las Guías de la Calidad del Aire de la OMS para el ozono, pasando del nivel actual de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (media máxima diaria de ocho horas)” (Organización Mundial de la Salud, 2005)

Dióxido de nitrógeno. (NO_2)

NO_2 : $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, media anual $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, media de una hora

Como contaminante del aire, el dióxido de nitrógeno (NO_2) tiene múltiples funciones, que a menudo resultan difíciles y en ocasiones imposibles de separar entre sí:

- a) Los estudios experimentales realizados con animales y con personas indican que el NO_2 , en concentraciones de corta duración superiores a $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$, es un gas tóxico con efectos importantes en la salud. Los estudios toxicológicos con animales también parecen indicar que la exposición prolongada al NO_2 en concentraciones por encima de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tiene efectos adversos. (Organización Mundial de la Salud, 2005).
- b) El NO_2 se ha utilizado en numerosos estudios epidemiológicos como marcador de la mezcla de contaminantes relacionados con la combustión, en particular los que emiten el tráfico por carretera o las fuentes de combustión en espacios cerrados. En estos estudios, los efectos observados en la salud se podrían haber asociado también con otros productos de la combustión, como las partículas ultra finas, el óxido nitroso (NO), el material particulado o el benceno. Aunque en varios estudios, realizados tanto en espacios abiertos como cerrados, se ha tratado de concentrar la atención en los riesgos del NO_2 para la salud, a menudo es difícil descartar la contribución de los efectos de estos otros contaminantes, muy relacionados con él (Organización Mundial de la Salud, 2005).
- c) La mayor parte del NO_2 atmosférico se emite en forma de NO , que se oxida rápidamente a NO_2 por acción del ozono. El dióxido de nitrógeno es, en presencia de hidrocarburos y luz ultravioleta, la principal fuente de ozono troposférico y de aerosoles de nitratos,

que constituyen una fracción importante de la masa de MP 2.5 del aire ambiente (Organización Mundial de la Salud, 2005).

Dióxido de azufre.

SO ₂ : 20 µg/m ³ , media de 24 horas 500 µg/m ³ , media de 10 minutos

Exposiciones de corta duración

Los estudios controlados realizados con asmáticos que hacían ejercicio indican que algunos de ellos experimentaron cambios en la función pulmonar y los síntomas respiratorios tras periodos de exposición al SO₂ de apenas 10 minutos. Tomando como base estas pruebas, se recomienda que no se supere una concentración de SO₂ de 500 µg/m³ durante periodos con una duración media de 10 minutos. Debido a que la exposición breve al SO₂ depende en gran medida de la naturaleza de las fuentes locales y las condiciones meteorológicas predominantes, no es posible aplicar un factor sencillo a este valor con el fin de estimar los valores guía correspondientes durante periodos de tiempo más prolongados, como por ejemplo una hora (Organización Mundial de la Salud, 2005).

Exposiciones prolongadas (más de 24 horas)

Las estimaciones iniciales de los cambios cotidianos en la mortalidad, la morbilidad o la función pulmonar en relación con las concentraciones medias de SO₂ durante 24 horas se basaban necesariamente en estudios epidemiológicos en los que la población estaba normalmente expuesta a una mezcla de contaminantes. Puesto que había poco fundamento para separar la contribución de los distintos contaminantes a los efectos observados en la salud, los valores guía para el SO₂ estaban vinculados antes de 1987 a los valores correspondientes para el MP.

“Este sistema llevó al establecimiento de un valor de las Guías de la Calidad del Aire para el SO₂ de 125 µg/m³ como promedio de 24 horas, después de aplicar un factor de incertidumbre de 2 a la concentración más baja con efectos adversos observados (OMS, 1987). En la segunda

edición de las guías de calidad del aire para Europa (OMS, 2000) se señaló que los estudios epidemiológicos posteriores documentaban efectos adversos en la salud pública separados e independientes para el MP y el SO₂, como consecuencia de lo cual se estableció para el SO₂ una GCA de la OMS separada de 125 µg/m³ (media de 24 horas)” (Organización Mundial de la Salud, 2005).

3.1.2 Normativa nacional

3.1.2.1 Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire

La Norma Ecuatoriana de Calidad del Aire, NECA, fue promulgada y publicada en el Registro oficial el 7 de junio de 2011, cuyos fundamentos constan en el Anexo 4 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (Ministerio del Ambiente, 2011).

3.1.2.2. Función de la Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire

La NECA es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional (Ministerio del Ambiente, 2011)

La NECA establece, objetivos de calidad del aire ambiente, límites permisibles de los contaminantes del aire y los métodos y procedimientos para la determinación de los contaminantes en el aire (Ministerio del Ambiente, 2011)

El objeto principal de poner en vigencia esta norma es preservar la salud de las personas, la calidad del aire, el bienestar de los ecosistemas y del ambiente en general. Para cumplir con este objetivo, esta norma establece los límites máximos permisibles de contaminantes en el aire a nivel de suelo. La norma también provee los métodos y procedimientos destinados a la

determinación de las concentraciones de contaminantes en el aire (Ministerio del Ambiente, 2011)

3.1.2.3 Índices de permisibilidad, bajo la Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire.

Material Particulado menor a 10 μ y 2,5 μ .

Para Material particulado menor a 10 micras (PM10) el promedio aritmético de la concentración de PM10 de todas las muestras en un año no deberá exceder de cincuenta microgramos por metro cúbico (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) mientras que el promedio aritmético de monitoreo continuo durante 24 horas, no deberá exceder de cien microgramos por metro cúbico (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Ministerio del Ambiente, 2011).

Material particulado menor a 2,5 micrones (PM2, 5).

Para material particulado menor a 2,5 micrones (PM2, 5), el promedio aritmético de la concentración de PM2, 5 de todas las muestras en un año no deberá exceder de quince microgramos por metro cúbico (15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Secretaria de Ambiente, 2009). El promedio aritmético de monitoreo continuo durante 24 horas, no deberá exceder de cincuenta microgramos por metro cúbico (50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Ministerio del Ambiente, 2011)

Ozono (O3)

La máxima concentración de ozono, obtenida mediante muestra continua en un período de ocho horas, no deberá exceder de cien microgramos por metro cúbico (100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), más de una vez en un año (Ministerio del Ambiente, 2011)

Dióxido de nitrógeno. (NO2)

El promedio aritmético de la concentración de Dióxido de nitrógeno, determinado en todas las muestras en un año, no deberá exceder de cuarenta microgramos por metro cúbico (40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). La concentración máxima en una hora no deberá exceder doscientos microgramos por metro cúbico (200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Ministerio del Ambiente, 2011).

Dióxido de azufre (SO₂).

La concentración SO₂ en 24 horas no deberá exceder ciento veinticinco microgramos por metro cúbico (125 µg/m³), la concentración de este contaminante para un periodo de diez minutos, no debe ser mayor a quinientos microgramos por metro cúbico (500 µg/m³) (Ministerio del Ambiente, 2011).

3.1.3 Similitud, diferencias y rigidez entre las Guías de la Calidad del aire de la OMS u la Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire

Al tratarse de normas que presentan un interés común, es normal la existencia de similitudes en ciertos aspectos y de discrepancia en otros, la complejidad del tema por lo general es el marco que determina la cantidad y profundidad de las discrepancias, en el caso de las guías de la calidad del aire de la OMS y la norma ecuatoriana de la calidad del aire, se presentan las siguientes características.

Un factor de similitud o diferencia muy grande es el valor límite permitido de contaminación permitido, cuya comparación esta resumida en el *Grafico No.2*.

Gráfico No. 2 Comparativo entre los límites de contaminantes de la Guía de Calidad del Aire de la OMS con los de la Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire (valores en µg/m³).

Contaminante	OMS	NECA	Periodo de medición	Estado
PM10	20	50	Promedio aritmético de todas las muestras colectadas en 1 año	Diferente
	50	100	Promedio aritmético de todas las muestras colectadas en 24 horas	Diferente
PM2.5	10	15	Promedio aritmético de todas las muestras colectadas en 1 año	Diferente
	25	50	Promedio aritmético de todas las muestras colectadas en 24 horas	Diferente
O3	100	100	Concentración máxima en 8 horas consecutivas	Igual
NO2	40	40	Promedio aritmético de todas las muestras colectadas en 1 año	Igual
	200	200	Concentración máxima en 1 hora de todas las muestras colectadas	Igual
SO2	20	125	Concentración en 24 horas de todas las muestras colectadas	Muy diferente
	500	500	Concentración en un período de 10 minutos de todas las muestras colectadas	Igual

Fuente: Informes de la calidad del Aire del DMQ (2005 – 2017); **Elaborado por:** Carlos Vinuesa Arguello, 2018.

3.1.3.1 Similitudes

Al ser los documentos principalmente enfocados en la parametrización de límites de la concentración de contaminantes, el valor máximo permitido en estos documentos son el primer factor de análisis, por lo tanto se puede observar que los límites establecidos para el Ozono, Dióxido de Nitrógeno y Dióxido de Azufre en un periodo de 10 minutos los valores límites establecido son los mismos de la NECA y de la OMS.

La afectación a la salud de los ciudadanos, se transforma en otro factor muy importante de similitud entre los documentos señalados, así por ejemplo:

PM10: Produce irritación de las vías respiratorias, agrava el asma y aumenta el riesgo de enfermedades cardiovasculares. Se relaciona con la silicosis y asbestosis. Causa deterioro de la función respiratoria (corto plazo). Asociado con el desarrollo de enfermedades crónicas, cáncer o muerte prematura (largo plazo) (Secretaria de Ambiente, 2014).

PM2.5: Tiene la capacidad de ingresar al espacio alveolar o al torrente sanguíneo incrementando el riesgo de padecer enfermedades crónicas cardiovasculares y muerte prematura (Secretaria de Ambiente, 2014).

Ozono: Concentraciones altas producen irritación ocular, de nariz y garganta, tos, dificultad y dolor durante la respiración profunda, dolor subesternal, opresión en el pecho, malestar general, debilidad, náusea y dolor de cabeza (Secretaria de Ambiente, 2014)

Dióxido de nitrógeno: Causa irritación pulmonar, bronquitis, pulmonía, reducción significativa de la resistencia respiratoria a las infecciones. Exposición continua a altas concentraciones incrementa la incidencia en enfermedades respiratorias en los niños, agravamiento de afecciones en individuos asmáticos y enfermedades respiratorias (Secretaria de Ambiente, 2014).

Dióxido de azufre: Altas concentraciones ocasionan dificultad para respirar, conjuntivitis, irritación severa en vías respiratorias y en pulmones. Causante de bronco constricción, bronquitis, traqueítis y bronco espasmos, agravamiento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares existentes (Secretaria de Ambiente, 2014).

3.1.3.2 Diferencias

Se puede apreciar en el cuadro comparativo que en cuanto a diferencias en valores tenemos leves diferencias de criterio técnico en los contaminantes material particulado, junto con una muy particular diferencia en el dióxido de azufre medido en una concentración de 24 horas; en este particular caso hay una diferencia de criterios de 105 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Particularmente la diferencia principal es la fundamentación y carácter de estos documentos, la NECA está fundamentada en la necesidad de crear un marcador para poder reglamentar la presencia de contaminación, y el carácter es de normar y controlar la contaminación de una sociedad; mientras que las guías de la OMS de la calidad del aire se fundamenta en el cuidado de la salud de la población mundial, y se caracteriza en la manera de sugerencia de límites normables de contaminación.

3.2 ANÁLISIS DE LA SISTEMATIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO

3.2.1 Análisis anual de la sistematización de los datos de contaminación del aire del DMQ con los índices de contaminación permitidos por la OMS y la NECA.

Material Particulado menor a 10 μ .

Las estaciones monitoreo adaptadas para realizar las mediciones de este contaminante son: Belisario Quevedo, Cotocollao, Jipijapa, Los Chillos y Guamaní. A partir de 2008 comienzan a adaptarse más estaciones como: Tababela, El Camal, Carapungo y Tumbaco; y del 2016 la estación San Antonio.

En *Tabla No. 12* se indica el dato anual de contaminación por estación, este permite identificar los valores más altos de contaminación en función del año y la estación.

Tabla No. 12 Resumen de promedios anuales de Material Particulado de 10 μ (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

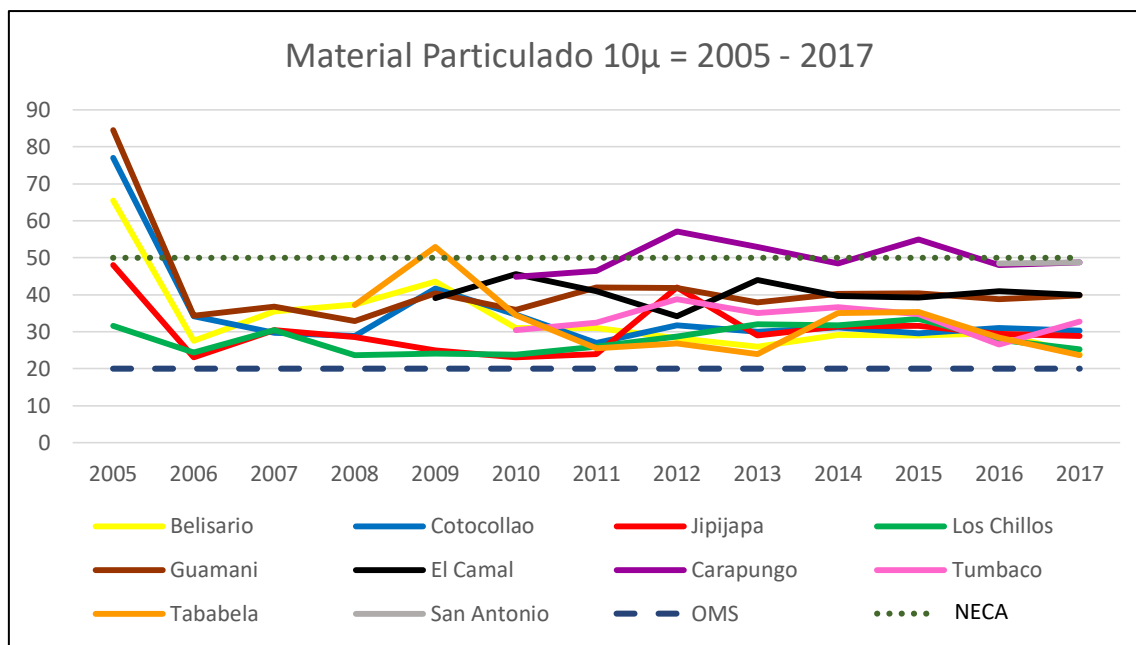
M.P. 10	Años (2005 -2017)												
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Belisario	65.5	27.6	35.5	37.3	43.6	31.0	31.0	28.2	26.0	29.1	29.0	29.5	24.0
Cotocollao	77.0	34.1	29.7	28.9	41.7	34.6	27.0	31.8	30.0	31.1	29.6	31.0	30.2
Jipijapa	48.1	23.0	30.5	28.6	24.9	23.0	24.0	42.0	29.0	31.4	31.6	29.4	28.8
Los Chillos	31.6	24.4	30.4	23.6	24.1	23.8	26.0	28.8	32.0	31.8	33.5	27.9	25.2
Guamani	84.6	34.4	36.8	33.0	40.4	36.0	42.0	41.9	38.0	40.3	40.4	38.8	39.8
El Camal					39.1	45.6	41.0	34.1	44.0	39.7	39.3	41.0	40.0
Carapungo						44.9	46.5	57.1	53.0	48.5	54.9	48.0	48.8
Tumbaco						30.4	32.5	38.7	35.0	36.7	34.7	26.6	32.7
Tababela				37.2	52.9	34.5	25.5	26.8	24.0	35.0	35.3	28.4	23.7
San Antonio												48.4	48.8
<i>OMS</i>	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
<i>N.N.o</i> NECA	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50

Fuente: Informes de la calidad del Aire del DMQ (2005 – 2017); Elaborado por: Carlos Vinueza Arguello, 2018

Se evidencia en color rojo los valores que sobrepasan el límite de contaminación permitido por la Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire y la Guía de la Calidad del Aire de la OMS. Los valores más altos que superan el límite de contaminación permitido por la NECA son los valores del 2005 en las estaciones Belisario (65.5), Cotocollao (77 μ/m^3) y Guamani (84.6 μ/m^3), el 2009 en la estación Tababela (52,9 μ/m^3) y en los años 2012, 2013 y 2015 en la estación Carapungo (57,1 μ/m^3 , 53 μ/m^3 y 54.9 μ/m^3).

Se evidencia de color amarillo los valores permitidos por la NECA pero que sobre pasa los límites de la OMS, que son todos los valores restantes, pues ningún valor se encuentra por debajo de las guías de la OMS.

Gráfico No. 3 Contaminación del Material Particulado 10 μ en función estación - año para el periodo del 2005 al 2017 (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).



Fuente: Informes de la calidad del Aire del DMQ (2005 – 2017); **Elaborado por:** Carlos Vinueza Arguello, 2018.

En el *Gráfico No 3* se observa dos límites permisibles para el Material Particulado de 10 μ por la Organización Mundial de la Salud (OMS), que es de 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y en La Normativa Nacional (NECA) es de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. A partir de estos límites se puede observar que todas las estaciones de monitoreo registraron valores superiores a los límites permitidos por la OMS durante todo el periodo analizado. Adicionalmente, tres de las cinco estaciones de monitoreo, (durante el 2005) superaron los niveles de contaminación por encima del límite permitido por la NECA y las dos restantes también presentan niveles elevados, aunque no superan los éstos límites. Esto podría ser un indicativo de un evento aislado de contaminación, posiblemente expresa la relación con la erupción del volcán reventador que sucedió entre 2004 y 2005 (Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, 2014) (Díaz, V, 2006).

En el año 2009 se puede observar un incremento de contaminación en la estación de Tababela, incremento que sobrepasa el límite permisible de la OMS y de la NECA, este aumento esporádico de la contaminación en Tababela, puede haberse dado por trabajos efectuados en el Nuevo Aeropuerto Mariscal Sucre, como el aplanamiento de la zona o la construcción y

remoción de escombros del aeropuerto, la Ruta Collas o la Ruta Viva ubicado cerca de la estación de monitoreo.

Entre los años 2010 y 2017 (Años en los que funciona la estación Carapungo) se puede observar una alta contaminación en la misma, con valores extremos que superan los límites de la NECA, en los años 2012, 2013 y 2015 (*Gráfico No 3*). Esta contaminación podría ser el resultado del funcionamiento de las canteras cercanas a la estación y a la condición de sequedad de la zona.

Material Particulado menor a 2.5 μ .

Las estaciones monitoreo adaptadas para realizar las mediciones de este contaminante son: Belisario Quevedo, Cotocollao, Jipijapa, Centro, El Camal y Carapungo. A partir de 2014 se adapta la estación: Los Chillos.

En *Tabla No. 13* se indica el dato anual de contaminación por estación, este permite identificar los valores más altos de contaminación en función del año y la estación.

Tabla No. 13 Resumen de promedios anuales de Material Particulado de 2,5 μ (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

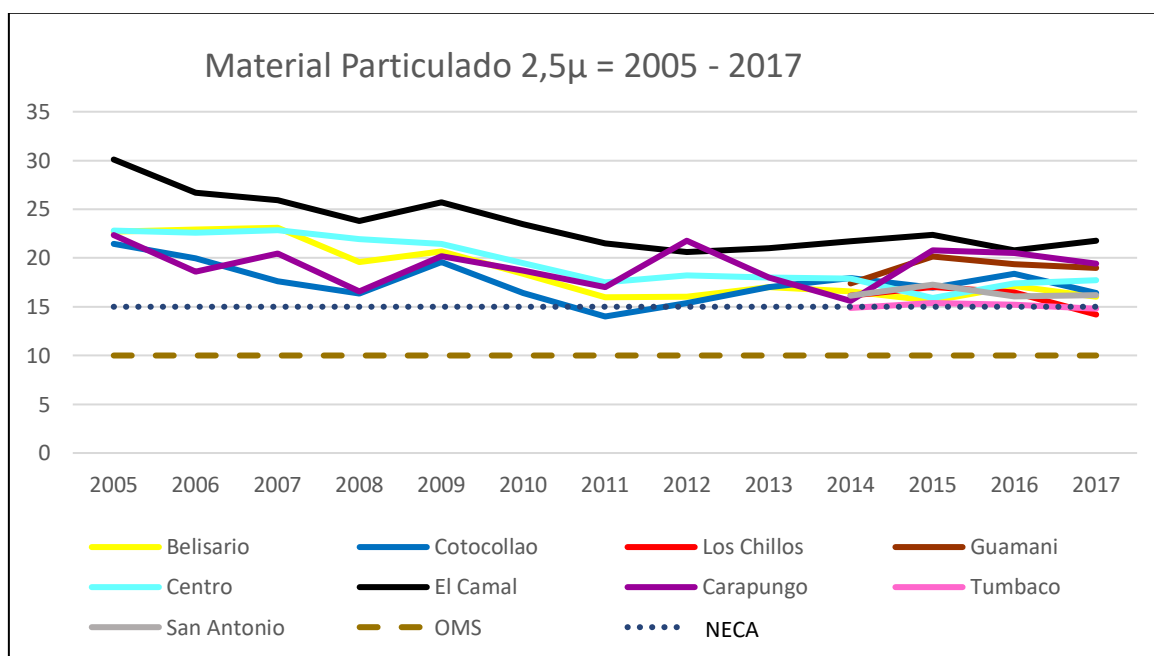
M.P. 2.5	Años (2005 -2017)												
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Belisario	22.7	22.9	23.1	19.6	20.7	18.4	16.0	16.0	17.0	16.6	15.6	17.1	16.0
Cotocollao	21.5	20.0	17.6	16.3	19.6	16.4	14.0	15.4	17.0	18.0	16.9	18.4	16.4
Los Chillos										16.1	17.0	16.4	14.2
Guamani										17.4	20.2	19.4	19.0
Centro	22.8	22.6	22.9	22.0	21.5	19.5	17.5	18.2	18.0	17.9	15.9	17.4	17.7
El Camal	30.1	26.7	25.9	23.8	25.7	23.5	21.5	20.6	21.0	21.7	22.4	20.8	21.8
Carapungo	22.4	18.6	20.5	16.6	20.2	18.7	17.0	21.8	18.0	15.6	20.8	20.5	19.4
Tumbaco										14.9	15.4	15.2	14.8
San Antonio										16.1	17.3	16.1	16.2
<i>OMS</i>	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
<i>NECA</i>	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

Fuente: Informes de la calidad del Aire del DMQ (2005 – 2017); **Elaborado por:** Carlos Vinuesa Arguello, 2018.

Se evidencia en color rojo los valores que sobrepasan el límite de contaminación permitido por la Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire y la Guía de la Calidad del Aire de la OMS. En este el caso del Material Particulado 2,5 μ se puede observar un dominio en cuanto los valores que sobrepasan las 2 normas de control de la calidad del aire. Esto indica una contaminación generalizada en todo el DMQ, misma que está dentro de los valores considerados un riesgo para la salud humana (Organización Mundial de la Salud, 2005).

Se evidencia de color amarillo los valores permitidos por la NECA pero que sobre pasa los límites de la OMS, que son del 2011 en la Cotocollao (14 μ/m^3), 2014 en la estación Tumbaco (14,9 μ/m^3) y en 2017 en la estación Los Chillos (14,2 μ/m^3) y Tumbaco (14,8 μ/m^3).

Gráfico No. 4 Contaminación del Material Particulado 2,5 μ en función estación - año para el periodo del 2005 al 2017(valores en $\mu g/m^3$).



Fuente: Informes de la calidad del Aire del DMQ (2005 – 2017); **Elaborado por:** Carlos Vinueza Arguello, 2018.

En el *Gráfico No 4* se observa dos límites permisibles para el Material Particulado de 2,5 μ por la Organización Mundial de la Salud (OMS), que es de 10 $\mu g/m^3$ y en la NECA es de 15 $\mu g/m^3$ en este caso se puede observar que todas las estaciones de monitoreo registraron valores superiores a los límites permitidos por la OMS y la NECA durante la mayor parte del periodo analizado. Con excepción de tres de las nueve estaciones de monitoreo, (durante el 2011, 2014

y 2017) no superaron los niveles de contaminación del límite permitido por la OMS y se puede observar una disminución de la contaminación en comparación del promedio registrado el 2005. Esto podría ser un indicativo de un evento aislado de contaminación, posiblemente expresa la relación con la erupción del volcán reventador que sucedió entre 2004 y 2005 (Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, 2014) (Díaz, V, 2006).

La *Grafica No 4* muestra de manera muy evidente una continua reducción del contaminante Material Particulado de 2.5 μ en todas las estaciones, esta disminución del contaminante puede deberse a la estrategia del ordenamiento territorial tomada por el municipio para sacar del área urbana las industrias contaminantes, esta normativa de control de la PUOS (Plan de Uso y Ocupación del Suelo) forzó la movilización de las industrias del centro de la ciudad hacia sus periferias

Ozono (O₃)

Las estaciones de monitoreo adaptadas para realizar las mediciones de este contaminante son: Belisario, Cotocollao, Jipijapa, Los Chillos, Guamani, Centro, El Camal y Tumbaco. A partir de 2007 se adapta la estación de Carapungo.

En la *Tabla No. 14* se indica el dato anual de contaminación por estación, este permite identificar los valores más altos de contaminación en función del año y la estación.

Tabla No. 14 Resumen de promedios anuales de Ozono (O₃) (valores en µg/m³).

O ₃	Años (2005 -2017)												
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Belisario	37.5	39.5	39.0	38.7	42.4	42.4	65.0	36.1	85.2	80.9	119.7	82.0	73.0
Cotocollao	46.6	45.9	46.2	43.3	48.6	46.0	71.5	45.1	73.6	78.9	110.6	84.8	117.3
Jipijapa	47.3	44.0	44.5	43.2	46.2	45.5	70.8	42.6	85.8	79.6	120.0	88.5	120.0
Los Chillos	43.4	42.1	42.9	43.1	43.9	45.0	70.0	40.0	98.0	80.4	129.3	92.1	122.7
Guamani	59.2	52.4	51.5	48.5	51.4	52.2	79.0	50.4	104.3	89.9	134.0	97.7	112.3
Centro	50.6	47.3	47.2	44.4	47.2	47.0	84.0	45.4	97.7	82.9	116.5	108.7	95.7
El Camal	47.3	44.8	44.8	41.2	42.1	43.1	72.5	42.4	96.9	86.5			109.7
Carapungo			52.5	43.3	48.8	48.0	72.0	48.0	86.8	84.5	112.5	123.8	102.5
Tumbaco	56.9	45.1	50.8	48.9	49.6	49.9	69.5	49.2	93.8	74.5	142.3	87.3	113.5
<i>O₃MS</i>	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
<i>NECA</i>	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

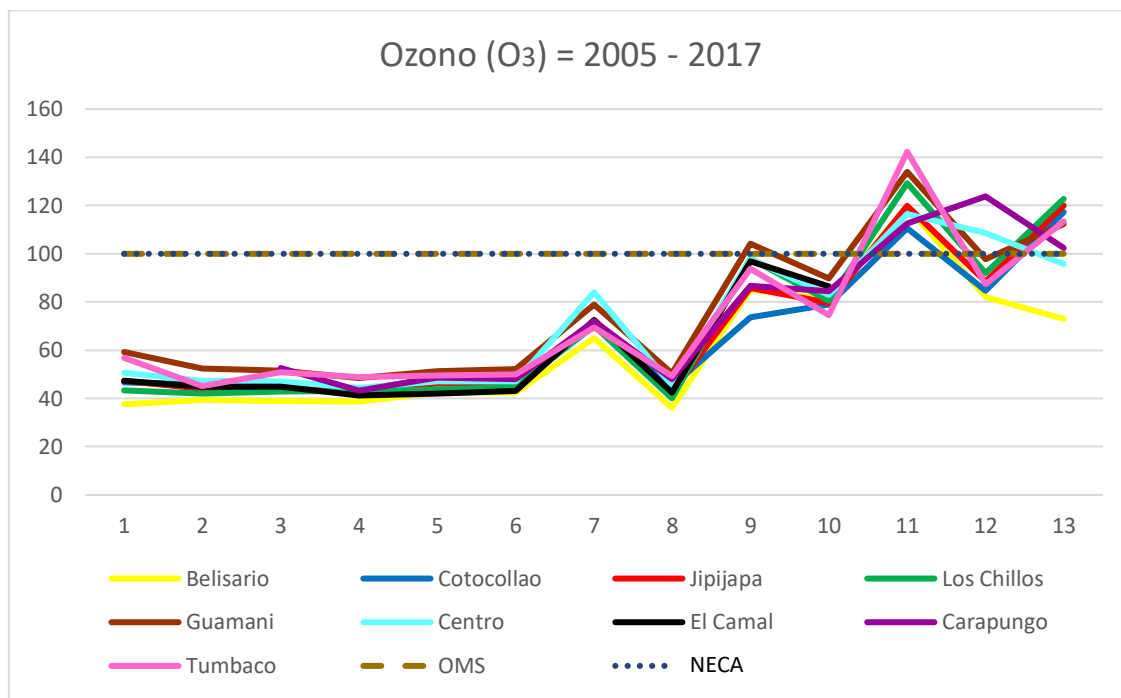
Fuente: Informes de la calidad del Aire del DMQ (2005 – 2017); **Elaborado por:** Carlos Vinuesa Arguello, 2018.

Se evidencia en color rojo los valores que sobrepasan el límite de contaminación recomendado por la guía de la OMS.

A partir del año 2013 se presentan los valores más altos registrados en las estaciones de monitoreo, en el 2013 la estación de Guamani (104.3 µ/m³), el 2015 en las estaciones de Belisario (119,7 µ/m³), Cotocollao (110,6 µ/m³), Jipijapa (120 µ/m³), Los Chillos (129.3 µ/m³), Guamaní (134 µ/m³), Centro (116,5 µ/m³), Carapungo (112.3 µ/m³) y Tumbaco (142.3 µ/m³), el año 2016 en las estaciones Centro(108,7 µ/m³) y Carapungo (123.8 µ/m³) y El año 2017 se presenta una alta contaminación en las estaciones Cotocollao (117,3 µ/m³), Jipijapa (120 µ/m³), Los Chillos (122.7 µ/m³), Guamaní (112,3 µ/m³), El Camal (109,7 µ/m³), Carapungo (102.5 µ/m³) y Tumbaco (113.5 µ/m³).

Los años comprendidos entre 2005 a 2012, y el 2014 no presentan ninguna estación de monitoreo con niveles que sobrepasen la OMS o la NECA, por lo tanto la mayoría de sus valores previos al año 2014 se pintan de color verde.

Gráfico No. 5 Promedios de Ozono (O₃) (valores en µg/m³).



Fuente: Informes de la calidad del Aire del DMQ (2005 – 2017); **Elaborado por:** Carlos Vinueza Arguello, 2018.

En el *Gráfico No 5* se observa la igualdad entre los límites permisibles para el Ozono por la Organización Mundial de la Salud (OMS), que es de 100 µg/m³ y en la NECA es de 100 µg/m³.

Entre el año 2010 y 2011 se observa un aumento de la contaminación en todas las estaciones de monitoreo, mientras que para el 2012 los valores de contaminación decrecen a nivel de valores de la contaminación del 2010.

A partir del año 2012 al 2013, se evidencia un aumento de la contaminación de manera súbita, en un lapso de un año llega al límite de contaminación permisible de la OMS y la NECA, para luego observar un leve decrecimiento en el año 2014 a valores de contaminación del 2011.

En los años 2015 – 2017, los valores de contaminación evidencian un aumento total de la contaminación con Ozono, siendo uno de los contaminantes más peligrosos y nocivos para la salud de la población, el descubrimiento de su fuente o factor de contaminación es imperativo para poder dar solución al problema.

Este aumento de la contaminación de Ozono, que se puede distinguir con claridad en el *Grafico No 5*, este indica la existencia de alguna fuente o factor de contaminación en aumento. El ozono es un contaminante de carácter secundario, este se presenta en el ambiente por la interacción entre el Dióxido de Azufre o el Dióxido de Nitrógeno con la radiación solar y la luz ultra violeta. La información obtenida en esta investigación describe los valores de contaminación de los contaminantes dióxidos como bajo de acuerdo a la norma internacional y nacional, el único factor de cambio es la radiación solar que se ha recibido en los últimos 5 años, por lo que se puede interpretar como el aumento de la contaminación de Ozono por el hecho de recibir mayor cantidad de radiación solar y luz ultra violeta (Secretaria del Medio Ambiente CDMX, 2016).

Dióxido de Nitrógeno (NO₂)

Las estaciones monitoreo adaptadas para realizar las mediciones de este contaminante son: Belisario, Cotocollao, Jipijapa, Guamaní, Centro, El Cama y Carapungo. A partir de 2011 se adaptan las estaciones: Los Chillos y Tumbaco; y el 2016 las estaciones de Tababela y San Antonio.

En *Tabla No. 15* se indica el dato anual de contaminación por estación, este permite identificar los valores más altos de contaminación en función del año y la estación

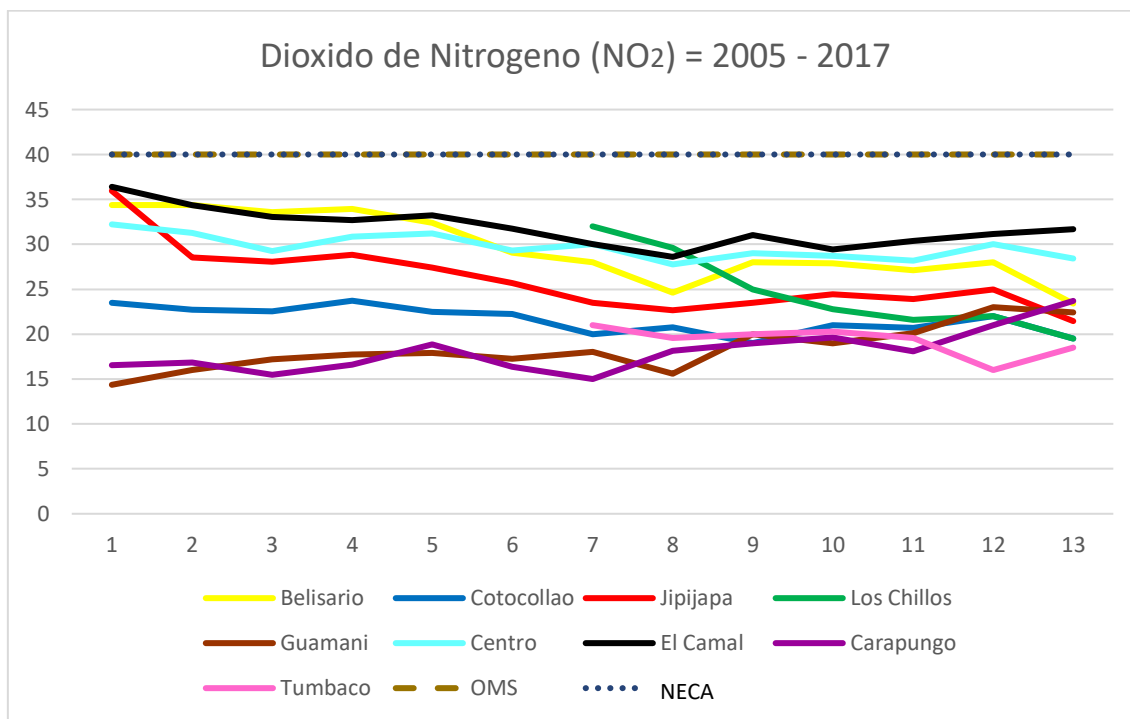
Tabla No. 15 Resumen de promedios anuales de Dióxido de Nitrógeno (valores en µg/m³).

NO ₂	Años (2005 -2017)												
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Belisario	34.4	34.4	33.58	33.96	32.38	29.07	28.00	24.62	28.00	27.90	27.10	28.00	23.40
Cotocollao	23.5	22.70	22.54	23.72	22.47	22.27	20.00	20.74	19.00	21.00	20.70	22.00	19.50
Jipijapa	22.5	28.5	28.1	28.8	27.4	25.7	23.50	22.7	23.5	24.5	23.9	25	21.45
Los Chillos							32.00	29.6	25.00	22.80	21.60	22.00	19.50
Guamani	14.4	16.03	17.22	17.70	17.90	17.24	18.00	15.61	20.00	19.00	20.10	23.00	22.40
Centro	32.2	31.29	29.26	30.85	31.22	29.29	30.00	27.76	29.00	28.70	28.20	30.00	28.40
El Camal	36.4	34.36	33.03	32.68	33.23	31.74	30.00	28.60	31.00	29.40	30.36	31.17	31.70
Carapungo	16.6	16.81	15.48	16.61	18.86	16.35	15.00	18.17	19.00	19.60	18.10	21.00	23.70
Tumbaco							21.00	9.09	9.5	9.8	9.05	16.00	18.51
<u>OMS</u>	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
<u>NECA</u>	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40

Fuente: Informes de la calidad del Aire del DMQ (2005 – 2017); Elaborado por: Carlos Vinuesa Arguello, 2018.

En el caso del Dióxido de Nitrógeno solo se pintó de color verde debido a que se evidencian valores de contaminación menor a los límites establecidos por la OMS y la NECA.

Gráfico No. 6 Promedios de Dióxido de Nitrógeno (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).



Fuente: Informes de la calidad del Aire del DMQ (2005 – 2017); **Elaborado por:** Carlos Vinueza Arguello, 2018.

En el *Grafico No 6* se observa la igualdad entre los límites permisibles para el Dióxido de Nitrógeno por la Organización Mundial de la Salud (OMS), que es de $40 \mu/\text{m}^3$ y en la NECA es de $40 \mu/\text{m}^3$.

Es muy evidente que en cuanto a contaminación de dióxido de Nitrógeno no hay valores promedio anuales que sobrepasen los límites permisibles de calidad del aire de la OMS o la Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire.

En el *Grafico No 6* se puede observar 2 tendencias muy claras de cambio en la contaminación a través del tiempo.

La primera es una disminución de la contaminación que se da desde el año 2005 al 2017 en las estaciones de El Camal ($36.4 \mu/\text{m}^3$ a $31.7 \mu/\text{m}^3$), Belisario ($34.4 \mu/\text{m}^3$ a $23.40 \mu/\text{m}^3$) y Centro ($32.2 \mu/\text{m}^3$ a $28,4 \mu/\text{m}^3$), son las estaciones con mayor contaminación de todo el grafico, mismas

que muestran una reducción que puede estar ligada a la disminución de industrias dentro de la zona urbana y a las medidas tomadas hacia el parque auto motor, medidas que implicaron el ingreso de autos con tecnología que disminuya la contaminación generada por los mismos y la normas adoptadas por el municipio, como la aplicación del pico y placa que rige desde 2010 y al aumento de la rigurosidad en las revisiones vehiculares.

La segunda tendencia es de aumento de contaminación, esta se da en las estaciones de Carapungo (16.6 μm^3 a 23.7 μm^3) y Guamani (14.4 μm^3 a 22.4 μm^3). Esto debido al aumento del parque auto motor en estos sectores y al desplazamiento de las industrias contaminantes hacia estos sitios.

Dióxido de Azufre.

Las estaciones monitoreo adaptadas para poder realizar las mediciones de este contaminante son: Belisario Quevedo, Cotocollao, Jipijapa, El centro, El Camal y Carapungo. A partir de 2011 comienzan a adaptarse más estaciones como: Guamaní y Los Chillos.

En *Tabla No. 16* se indica el dato anual de contaminación por estación, este permite identificar los valores más altos de contaminación en función del año y la estación

Tabla No. 16 Resumen de promedios anuales de Dióxido de Azufre (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

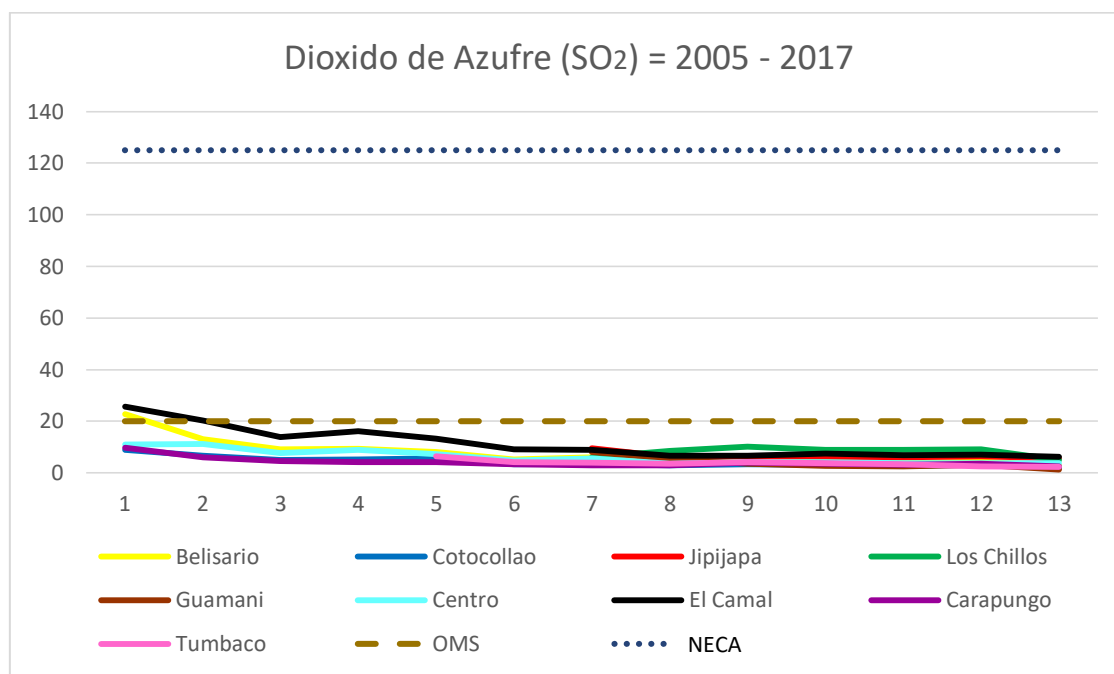
SO ₂	Años (2005 -2017)												
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Belisario	22.7	13	9.03	9.35	8.08	5.19	6.00	3.11	4.84	4.42	3.80	4.30	2.90
Cotocollao	8.97	6.56	5.04	5.18	5.62	3.36	3.50	2.90	3.29	3.04	2.70	3.20	1.80
Jipijapa							9.50	1.45	1.65	1.52	1.35	1.60	0.90
Los Chillos							6.00	8.46	10.09	8.80	9.00	9.20	4.90
Guamani							8.00	5.34	3.55	2.63	2.50	3.20	1.20
Centro	11	11.22	7.75	8.95	7.29	4.75	5.50	3.45	4.16	4.17	3.80	3.80	3.80
El Camal	25.7	20.19	13.86	16.20	13.31	9.08	9.00	6.57	6.66	7.35	6.86	6.96	6.20
Carapungo	9.71	5.91	4.54	4.05	4.21	3.23	3.00	2.85	3.94	3.62	3.20	3.50	2.50
Tumbaco					6.34	4.21	4.00	3.44	4.07	3.63	3.40	2.50	2.3
<i>OMS</i>	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
<i>NECA</i>	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125

Fuente: Informes de la calidad del Aire del DMQ (2005 – 2017); Elaborado por: Carlos Vinuesa Arguello, 2018.

Se evidencia en color amarillo los valores que sobrepasan el límite de contaminación recomendado por la guía de la OMS pero dentro de lo permitido por la Norma Ecuatoriana de la calidad del Aire.

En el año 2005 se observan los valores más altos registrados en las estaciones de monitoreo, Belisario (22.7 μm^3) y El Camal (25.7 μm^3) y en el 2006 la estación El Camal (20.19 μm^3), estos valores se encuentran dentro de la Norma Ecuatoriana de la calidad del aire pero fuera de los niveles permitidos por la Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire.

Gráfico No. 7 Promedios de Dióxido de Azufre (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).



Fuente: Informes de la calidad del Aire del DMQ (2005 – 2017); **Elaborado por:** Carlos Vinueza Arguello, 2018.

En el *Grafico No 7* se observa dos límites permisibles para el Dióxido de Azufre por la Organización Mundial de la Salud (OMS), que es de 20 μm^3 y en la NECA es de 125 μm^3 a partir de estos límites se puede observar de manera clara la diferencia restrictiva entre los 2 límites, junto con la presencia de valores en estaciones y años que sobre pasan estos límites. En la NECA se establece la realización de nuestros procedimientos, metodologías y límites de acuerdo a los establecidos por Estados Unidos (NECA, 2011).

En el 2005 podemos encontrar 2 valores que sobre pasan el límite establecido por la OMS, las estaciones El Camal ($25.7 \mu/m^3$) y Belisario ($22.7 \mu/m^3$) y en el año 2006 El Camal ($20.9 \mu/m^3$) esto se debe a la erupción volcánica del reventador en los años 2004 -2005. Se puede evidenciar una reducción constante de las estaciones El Camal y Belisario, hasta estabilizarse en un rango de $(2 - 10) \mu/m^3$.

3.2.2 Análisis mensual de la sistematización de los datos de contaminación del aire del DMQ con los índices de contaminación permitidos por la OMS y la NECA.

El análisis de la calidad del aire parte también de un interés por descubrir los meses con mayor contaminación, para poder entender de mejor manera las dinámicas estacionales de la contaminación en el DMQ.

Material Particulado de 10μ (MP10)

En la *Tabla No 17* es fácil distinguir que todos los valores de promedio mensual sobrepasan el límite de la calidad del aire establecido por la OMS en todas las estaciones, pero es muy evidente el aumento de la contaminación los meses en los cuales disminuye la cantidad de precipitación que cae en el DMQ como se lo puede observar en el climograma en el *Grafico No 14*.

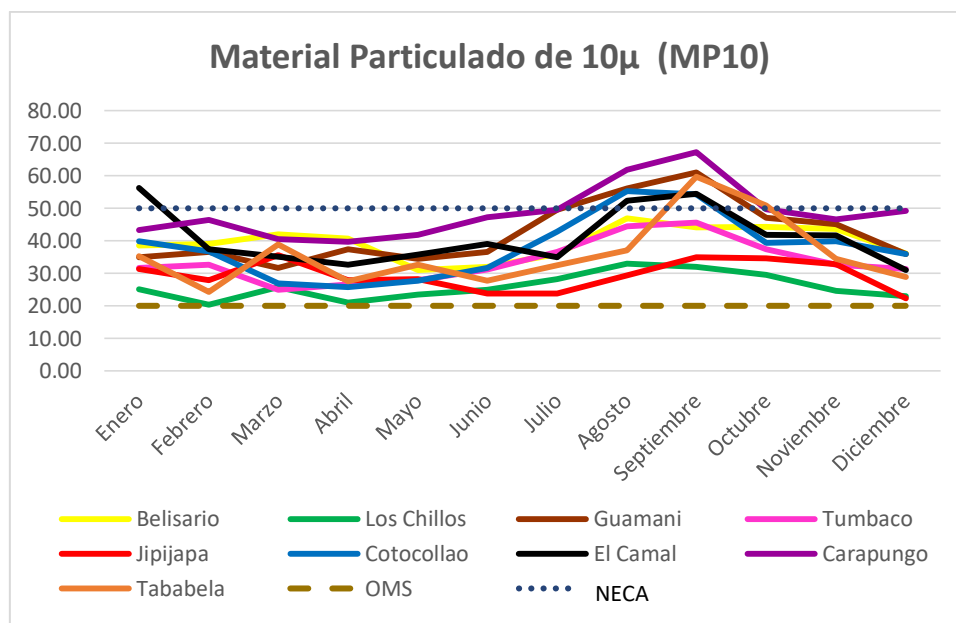
Tabla No. 17 Resumen de promedios mensuales de Material Particulado de 10 μ (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Material Particulado de 10 μ (MP10)												
Estación de monitoreo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Belisario	38.48	39.02	42.03	40.61	30.95	32.05	35.91	46.84	44.07	44.22	43.55	36.03
Los Chillos	25.12	20.37	25.68	21.04	23.52	24.93	28.17	32.94	32.01	29.46	24.62	22.99
Guamani	34.87	36.60	31.65	37.38	34.50	36.52	49.53	56.07	61.02	47.15	45.13	35.94
Tumbaco	31.68	32.62	24.87	26.50	27.96	31.12	36.62	44.53	45.56	37.44	32.68	31.32
Jipijapa	31.26	27.92	35.63	27.83	28.25	23.80	23.83	29.40	34.99	34.63	32.86	22.23
Cotocollao	39.88	36.80	26.83	25.68	27.78	31.73	42.85	55.24	54.29	39.40	39.83	35.92
El Camal	56.22	37.32	35.12	32.56	35.75	39.03	35.01	52.29	54.51	41.76	41.67	30.97
Carapungo	43.28	46.48	40.43	39.74	41.79	47.19	49.55	61.84	67.28	49.75	46.52	49.28
Tababela	35.27	24.31	38.90	27.52	32.65	27.65	32.43	37.03	59.76	50.91	34.46	28.95
OMS	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
NECA	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50

Fuente: Informes de la calidad del Aire del DMQ (2005 – 2017); Elaborado por: Carlos Vinueza Arguello, 2018.

En el *Grafico No. 8* elaborado a raíz de la información de 13 años se evidencia claramente la existencia de 2 picos de contaminación, uno Enero - Febrero y otro Agosto – Octubre; mientras que los Valles (Valores más bajos), son en los meses Abril – Junio y Noviembre – Diciembre.

Gráfico No. 8 Promedios mensuales de Material particulado de 10 μ (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).



Fuente: Informes de la calidad del Aire del DMQ (2005 – 2017); Elaborado por: Carlos Vinueza Arguello, 2018.

En el *Grafico No 8* se puede notar una diferencia evidenciable entre la contaminación de cada estación, esto se refiere a que hay diferencias bastante fuertes entre la contaminación de cada estación, sin embargo estas siguen el mismo patrón de disminución y aumento a lo largo de los meses.

El patrón de tendencia que se evidencia en la *Grafico No 8*, permite distinguir cierta similitud entre las estaciones de monitoreo, estando estas localizadas a unos 5km - 10km entre ellas, se observa la misma lógica de curvas, esto indica una contaminación mensual similar en el DMQ, diferenciada tan solo por la mayor exposición a contaminantes en cada estación.

Material Particulado de 2,5 μ (MP2.5)

En la *Tabla No 18* la mayoría de los valores del promedio mensual sobrepasan los 2 límites de la calidad del aire, establecidos por la OMS y la NECA en todas las estaciones, sin embargo se puede observar que los meses de Junio y Julio hay una reducción en ciertas estaciones (Belisario, Los Chillos y Cotocollao), estos meses tradicionalmente son vacaciones de verano de las escuelas, colegios y ciertas universidades, lo que puede indicar que su reducción está ligada a la reducción del parque automotor circulante en la ciudad, y a la migración vacacional hacia la zona costera del país.

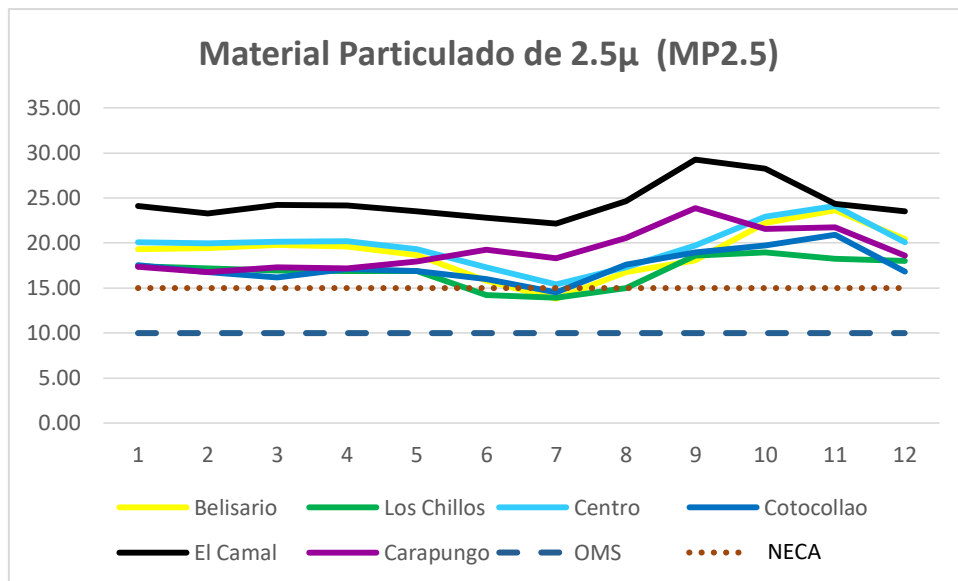
Tabla No. 18 Resumen de promedios mensuales de Material Particulado de 2,5 μ (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Material Particulado de 2.5μ (MP2.5)												
<u>Estación de monitoreo</u>	<u>Enero</u>	<u>Febrero</u>	<u>Marzo</u>	<u>Abril</u>	<u>Mayo</u>	<u>Junio</u>	<u>Julio</u>	<u>Agosto</u>	<u>Septiembre</u>	<u>Octubre</u>	<u>Noviembre</u>	<u>Diciembre</u>
<u>Belisario</u>	19.33	19.44	19.79	19.59	18.66	15.85	13.78	16.74	18.06	22.21	23.63	20.43
<u>Los Chillos</u>	17.40	17.20	16.94	16.90	16.89	14.20	13.96	15.02	18.61	18.96	18.27	17.99
<u>Centro</u>	20.09	19.99	20.13	20.23	19.30	17.30	15.38	17.32	19.76	22.93	24.14	20.07
<u>Cotocollao</u>	17.51	16.75	16.16	17.15	16.89	16.01	14.51	17.59	18.97	19.73	20.90	16.83
<u>El Camal</u>	24.09	23.31	24.23	24.15	23.53	22.82	22.18	24.65	29.25	28.26	24.37	23.50
<u>Carapungo</u>	17.35	16.76	17.28	17.20	17.93	19.25	18.33	20.55	23.89	21.56	21.74	18.61
<u>OMS</u>	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
<u>NECA</u>	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

Fuente: Informes de la calidad del Aire del DMQ (2005 – 2017); **Elaborado por:** Carlos Vinuesa Arguello, 2018.

En el *Grafico No 9* elaborado a raíz de la información de 13 años se evidencia claramente la existencia de 1 pico de contaminación comprendido entre Agosto – Octubre seguido de una disminución de la contaminación en los meses de Noviembre – Diciembre. Mientras que existe una tendencia de contaminación lineal entre los meses Enero – Julio.

Gráfico No. 9 Promedios mensuales de Material particulado de 2,5µ (valores en µg/m³).



Fuente: Informes de la calidad del Aire del DMQ (2005 – 2017); **Elaborado por:** Carlos Vinuesa Arguello, 2018.

En *Grafico No 9* se puede notar una diferencia evidenciable de la estación El Camal con la contaminación de las otras estaciones, esto se refiere a que hay diferencias bastante fuertes entre la contaminación de la estación del camal en comparación de las demás estaciones de monitoreo, sin embargo estas siguen el mismo patrón de disminución y aumento a lo largo de los meses.

Ozono (O₃)

En la *Tabla No 19* Todos los valores del promedio mensual están dentro de los límites de la calidad del aire, establecidos por la OMS y la NECA, esto podría interpretarse como una calidad del aire optima pero por lo observado en el Grafico No 5, se conoce que la cantidad de ozono en el ambiente de los últimos 5 años aumentado exponencialmente al punto de rebasar los límites permitidos por la Guía de la Calidad del Aire de la OMS y la Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire.

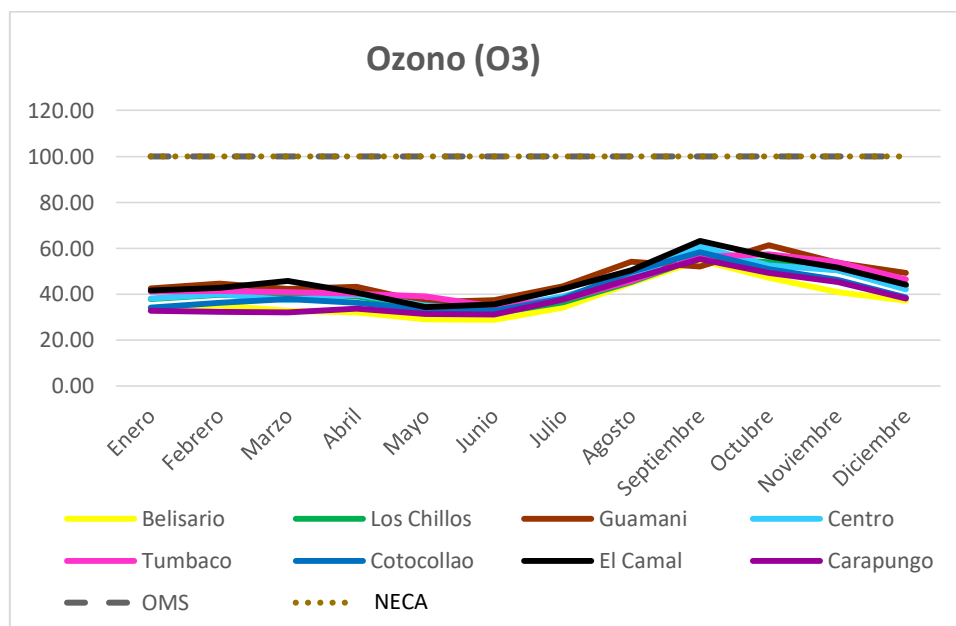
Tabla No. 19 Resumen de promedios mensuales de Ozono (O3) (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Ozono (O3)												
Estación de monitoreo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Belisario	33.11	35.01	32.78	32.01	29.02	28.72	34.22	44.86	54.72	47.15	40.91	37.09
Los Chillos	37.87	39.70	39.08	39.07	34.46	31.68	36.41	45.24	55.88	53.78	50.50	43.77
Guamani	42.52	44.70	42.34	43.18	36.48	37.30	43.48	54.24	51.94	61.34	53.62	49.30
Centro	38.02	39.91	37.35	39.82	35.17	33.74	39.12	47.29	60.85	52.61	50.43	42.14
Tumbaco	41.14	41.29	40.84	40.09	39.00	34.50	37.70	45.79	56.22	57.36	53.91	46.45
Cotocollao	34.12	36.18	37.75	36.22	33.13	32.73	38.19	49.67	58.27	50.81	46.19	38.45
El Camal	41.58	42.77	45.76	40.62	34.46	35.50	42.37	50.43	63.29	56.37	51.55	44.10
Carapungo	32.84	32.23	32.05	33.71	31.36	31.16	37.62	46.64	55.38	49.15	45.26	38.01
OMS	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
NECA	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Fuente: Informes de la calidad del Aire del DMQ (2005 – 2017); Elaborado por: Carlos Vinueza Arguello, 2018.

En el *Grafico No 10* elaborado a raíz de la información de 13 años se evidencia claramente la existencia de 2 picos de contaminación, uno Enero - Marzo y otro Agosto – Octubre, seguido de una disminución entre los meses de Noviembre – Diciembre; mientras que los Valles (Valores más bajos), son en los meses Abril – Julio.

Gráfico No. 10 Promedios mensuales de Ozono (O3) (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).



Fuente: Informes de la calidad del Aire del DMQ (2005 – 2017); Elaborado por: Carlos Vinueza Arguello, 2018.

En el *Grafico No 10* se observa una similitud bastante evidente entre la contaminación de todas las estaciones, esto demuestra una contaminación uniforme y generalizada en el DMQ. Partiendo del conocimiento de los altos valores de contaminación existentes de este contaminante y su distribución general, se infiere una contaminación peligrosa de este gas.

Es muy evidente el aumento de la contaminación los meses en los cuales disminuye la cantidad de precipitación que cae en el DMQ como se lo puede observar en el climograma en el *Grafico No 14*.

Dióxido de Nitrógeno (NO₂)

En la *Tabla No 20* Todos los valores del promedio mensual están dentro de los límites de la calidad del aire establecidos por la OMS y la NECA, por lo obtenido en su análisis anual se puede inferir un cumplimiento total de los límites permisibles de la calidad del aire en lo que respecta a Dióxido de Nitrógeno.

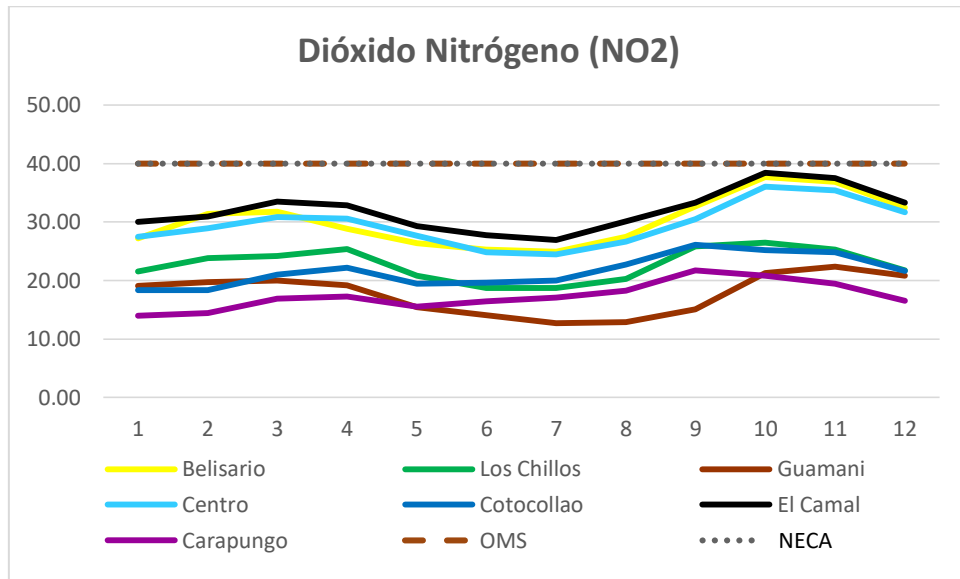
Tabla No. 20 Resumen de promedios mensuales de Dióxido de Nitrógeno (valores en µg/m³).

Dióxido Nitrógeno (NO ₂)												
Estación de monitoreo	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
<u>Belisario</u>	27.20	31.41	31.81	28.81	26.41	25.25	24.92	27.46	32.66	37.69	36.92	32.54
<u>Los Chillos</u>	21.57	23.86	24.22	25.36	20.86	18.76	18.71	20.28	25.81	26.46	25.29	21.74
<u>Guamani</u>	19.09	19.68	19.96	19.16	15.44	14.07	12.72	12.91	15.06	21.24	22.32	20.82
<u>Centro</u>	27.47	28.92	30.88	30.59	27.69	24.87	24.48	26.68	30.53	36.07	35.38	31.65
<u>Cotocollao</u>	18.32	18.33	21.04	22.18	19.42	19.65	19.96	22.72	26.11	25.21	24.85	21.66
<u>El Camal</u>	29.99	30.99	33.49	32.86	29.28	27.74	26.90	30.09	33.34	38.41	37.51	33.31
<u>Carapungo</u>	13.93	14.39	16.90	17.29	15.52	16.41	17.10	18.28	21.71	20.82	19.45	16.56
<u>OMS</u>	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
<u>NECA</u>	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40

Fuente: Informes de la calidad del Aire del DMQ (2005 – 2017); Elaborado por: Carlos Vinuesa Arguello, 2018.

En el *Grafico No 11* elaborado a raíz de la información de 13 años se evidencia claramente la existencia de 2 picos de contaminación, uno entre Febrero - Abril y otro Agosto – Octubre, seguido de un descenso los meses de Noviembre – Diciembre. Mientras que el Valle es entre los meses Abril – Julio.

Gráfico No. 11 Promedios mensuales de Dióxido de Nitrógeno (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).



Fuente: Informes de la calidad del Aire del DMQ (2005 – 2017); **Elaborado por:** Carlos Vinueza Arguello, 2018.

En el *Grafico No 11* se puede notar una leve diferencia entre la contaminación de cada estación, esto se refiere a que hay diferencias bastante fuertes entre la contaminación de cada estación, sin embargo estas siguen el mismo patrón de disminución y aumento a lo largo de los meses.

Dióxido de Azufre

En la *Tabla No 21* Todos los valores del promedio mensual están dentro de los límites de la calidad del aire establecidos por la OMS y la NECA, junto al análisis anual se puede inferir un cumplimiento total de los límites permisibles de la calidad del aire en lo que respecta a Dióxido de Nitrógeno.

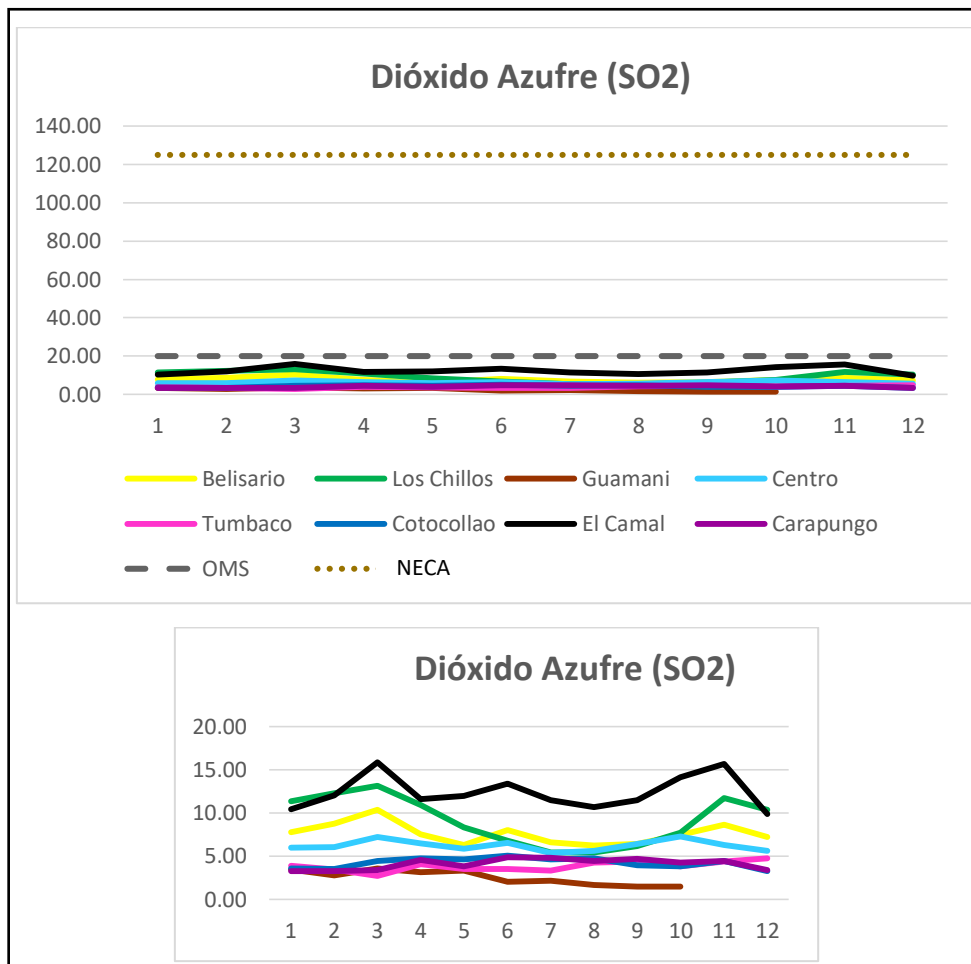
Tabla No. 21 Resumen de promedios mensuales de Dióxido de Azufre (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Dióxido Azufre (SO₂)												
<u>Estación de monitoreo</u>	<u>Enero</u>	<u>Febrero</u>	<u>Marzo</u>	<u>Abril</u>	<u>Mayo</u>	<u>Junio</u>	<u>Julio</u>	<u>Agosto</u>	<u>Septiembre</u>	<u>Octubre</u>	<u>Noviembre</u>	<u>Diciembre</u>
<u>Belisario</u>	7.76	8.73	10.32	7.48	6.28	8.01	6.58	6.21	6.42	7.45	8.62	7.23
<u>Los Chillos</u>	11.32	12.24	13.11	10.92	8.32	6.78	5.44	5.44	6.19	7.67	11.69	10.33
<u>Guamani</u>	3.45	2.74	3.54	3.13	3.32	2.00	2.15	1.68	1.46	1.45		3.04
<u>Centro</u>	5.98	6.01	7.20	6.46	5.82	6.55	5.37	5.57	6.43	7.29	6.30	5.59
<u>Tumbaco</u>	3.85	3.47	2.72	4.06	3.53	3.49	3.35	4.23	4.38	3.83	4.36	4.76
<u>Cotocollao</u>	3.59	3.48	4.40	4.71	4.59	5.03	4.59	4.75	3.96	3.83	4.43	3.26
<u>El Camal</u>	10.40	12.02	15.81	11.61	11.97	13.38	11.46	10.67	11.46	14.12	15.66	9.83
<u>Carapungo</u>	3.25	3.28	3.38	4.55	3.84	4.89	4.79	4.44	4.69	4.25	4.45	3.37
<u>OMS</u>	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
<u>NECA</u>	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125

Fuente: Informes de la calidad del Aire del DMQ (2005 – 2017); **Elaborado por:** Carlos Vinuesa Arguello, 2018.

En el *Grafico No 12* elaborado a raíz de la información de 13 años se evidencia claramente la existencia de 2 picos de contaminación, uno Enero - Marzo y otro Septiembre – Noviembre; mientras que los Valles (Valores más bajos), son en los meses Abril – Julio Diciembre - Enero.

Gráfico No. 12 Promedios mensuales de Dióxido de Azufre (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).



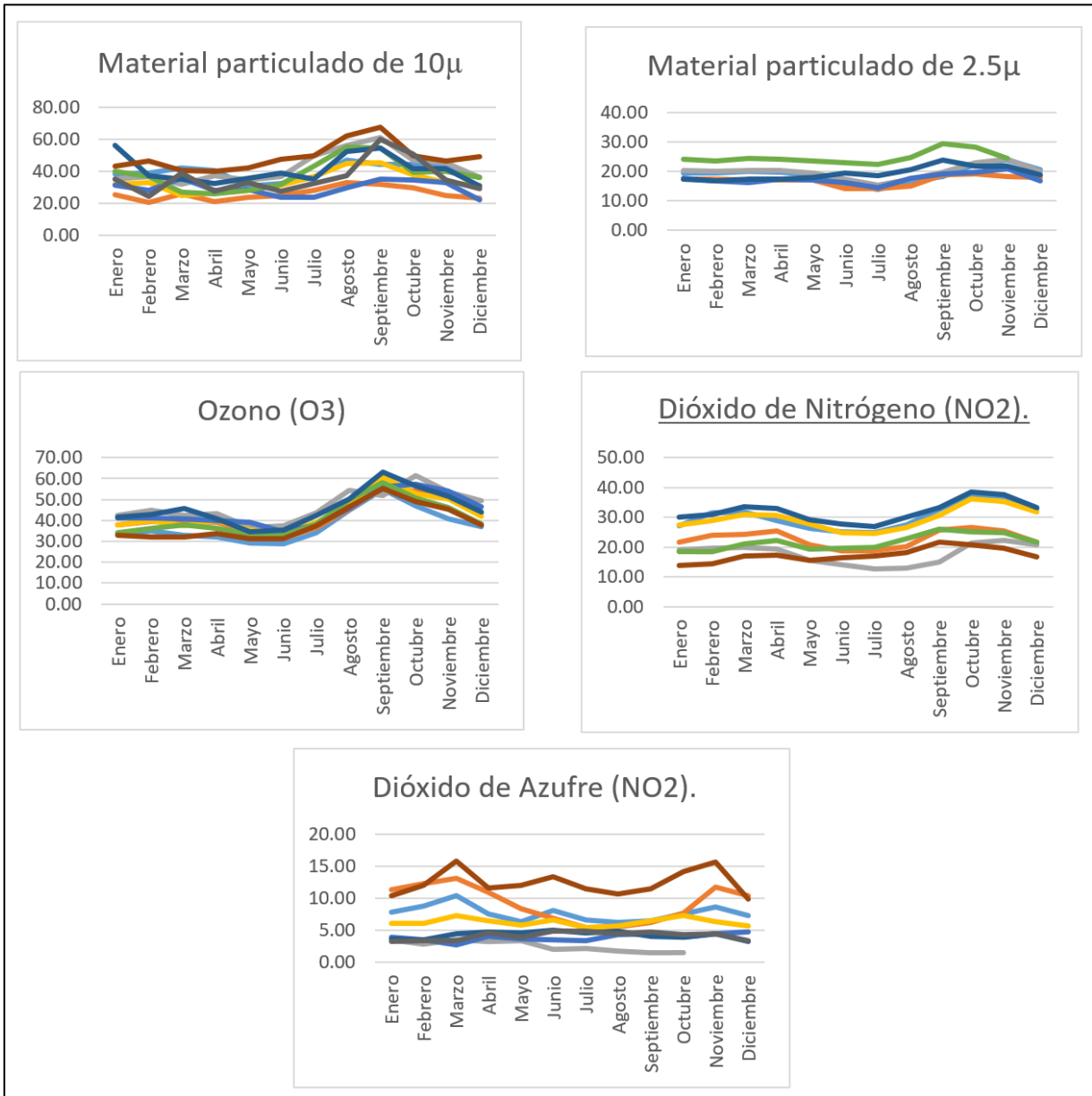
Fuente: Informes de la calidad del Aire del DMQ (2005 – 2017); **Elaborado por:** Carlos Vinuesa Arguello, 2018.

Fue necesario en el *Gráfico No 12* aumentar un gráfico extra para poder distinguir la variación de la contaminación entre estaciones, puesto a que en el grafico comparando con la NECA, los detalles de la contaminación del Dióxido de Azufre se pierden y no se puede notar los meses en que aumenta o disminuye.

En el *Gráfico No 12* se puede notar una diferencia evidenciable entre la contaminación de cada estación, esto se refiere a que hay diferencias bastante fuertes entre la contaminación de cada estación, sin embargo estas siguen el mismo patrón de disminución y aumento a lo largo de los meses.

Análisis generalizado de los meses con mayor y menor contaminación del aire.

Gráfico No. 13 Compilación de Gráficos de Promedios Mensuales (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).



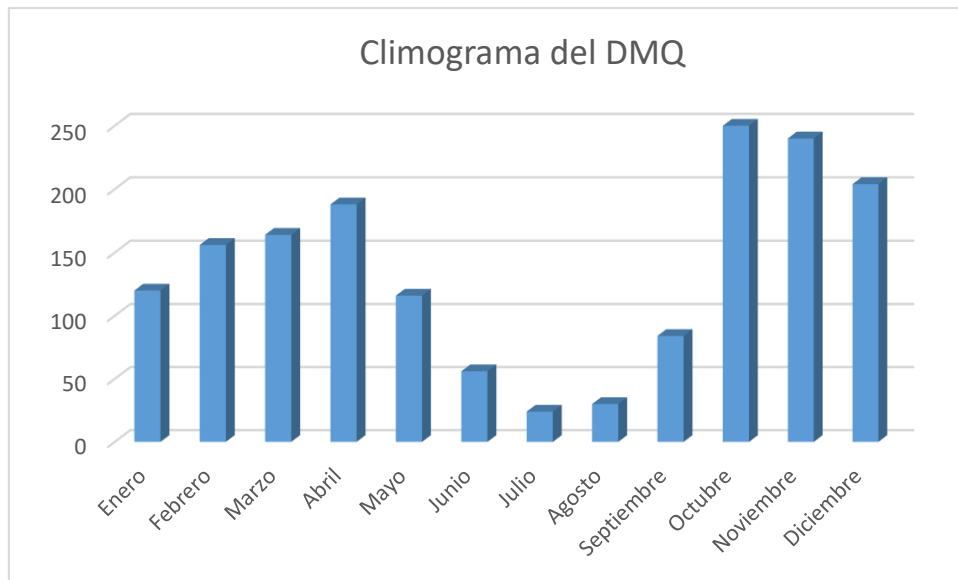
Fuente: Informes de la calidad del Aire del DMQ (2005 – 2017); **Elaborado por:** Carlos Vinueza Arguello, 2018.

En el *Gráfico No 13* de contaminación por meses se puede observar claramente la existencia de un patrón de aumento y disminución en diferentes meses del año, se distingue una primera disminución del agente contaminante a partir de los meses de Abril – Junio; y una segunda disminución a partir del mes de Octubre. Como podemos observar el pico de contaminación

general entre todos los contaminantes se produce a partir del mes de Agosto - Septiembre, en estos meses se observa el aumento de contaminación.

Estas variantes de contaminación en el transcurso de los meses del año, se deben a 2 motivos relacionados a la emisión y dispersión de la contaminación del aire.

Gráfico No. 14 Gráfico de lluvias del DMQ (valores en ml³).



Fuente: (INAMHI, 2018); **Elaborado por:** Carlos Vinueza Arguello, 2018.

Por lo evidenciado en el climograma del DMQ (*Gráfico No. 14*) se puede apreciar que el descenso de la contaminación está ligado a la época de mayor lluvia, mientras que el incremento de la contaminación aumenta los meses con menor cantidad de lluvia.

Otro motivo acorde a la reducción de contaminación en ciertos meses, está ligado a la reducción de los vehículos en la ciudad, en los meses de vacaciones escolares y universitarias existe una reducción del tráfico en la ciudad por 2 factores, la reducción de necesidad de movilización de gran parte de la población y la salida de vehículos hacia otras ciudades por vacaciones. Esto permite reducir la contaminación generada por el parque automotor.

3.2.3 Análisis horario de la sistematización de los datos de contaminación del aire del DMQ con los índices de contaminación permitidos por la OMS y la NECA.

Para la realización de este análisis se promedió los datos horarios comprendidos entre el 2005 al 2017. De esta manera se obtuvo un valor estimado muy preciso de la contaminación de cada hora del día, estas tablas de cada contaminante se las transformo a gráficas para poder obtener una representación muy didáctica de la manera en que se manifiesta la contaminación en los diferentes horarios del día.

Material Particulado 10 μ

En la *Tabla No 22* se puede apreciar que en todo el día se supera el límite de contaminación establecido por la OMS, y esta contaminación parece incrementar en las horas que se pueden considerar de alto flujo vehicular y desempeño de las acciones cotidianas de la población del DMQ.

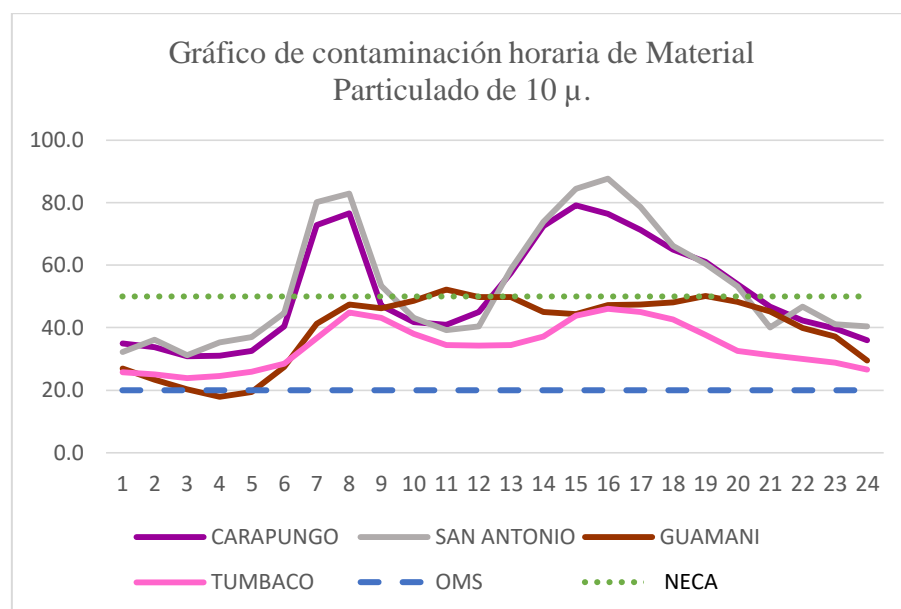
Tabla No. 22 Resumen de datos horarios de Material Particulado 10 (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Tabla resumen de datos horarios de Material Particulado 10 μ																								
Estación de Monitoreo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Carapungo	35.0	33.8	31.0	31.0	32.7	40.4	72.8	76.6	47.0	41.9	40.9	45.0	57.4	72.5	79.1	76.3	71.4	64.9	61.1	53.9	46.7	42.4	39.8	36.0
San Antonio	32.3	36.2	31.3	35.4	37.0	44.7	80.1	82.9	53.3	43.2	39.2	40.4	58.7	73.8	84.4	87.7	78.7	66.3	60.4	53.2	40.1	46.7	41.2	40.4
Guamani	26.9	23.4	20.3	17.9	19.5	27.4	41.3	47.4	46.3	48.6	52.2	49.8	49.7	45.1	44.4	47.2	47.4	48.1	50.1	48.3	45.3	40.0	37.2	29.5
Tumbaco	25.7	25.0	23.8	24.6	25.9	28.5	36.6	44.8	43.1	38.0	34.4	34.3	34.5	37.3	43.9	46.0	45.0	42.7	37.7	32.6	31.1	30.0	28.8	26.7
OMS	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
NECA	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50

Fuente: Informes de la calidad del Aire del DMQ (2005 – 2017); Elaborado por: Carlos Vinuesa Arguello, 2018.

En el *Gráfico No 15* elaborado a raíz de la información de 13 años se evidencia claramente la existencia de 2 picos de contaminación, de las 5:00 AM a las 9:00 AM y Luego a partir de las 1:00 PM a 8:00 PM; mientras que los Valles (Valores más bajos), son en los horarios 8:00 PM a 5:00 AM y un pequeño lapso 9:00 AM a 1:00 PM.

Gráfico No. 15 Promedios de contaminación horaria de Material Particulado de 10 μ (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)



Fuente: Informes de la calidad del Aire del DMQ (2005 – 2017); **Elaborado por:** Carlos Vinueza Arguello, 2018.

En el *Gráfico No 15* existe una diferencia alta entre las estaciones de monitoreo ubicadas al norte de la ciudad, es decir, cerca de las canteras, además de una zona seca, con las estaciones de monitoreo ubicadas en el sur o en el valle, el hecho de que haya estas grandes diferencias, evidencia una mayor contaminación en un diferente sector. En las estaciones de monitoreo del norte (San Antonio y Carapungo) se puede identificar que se sobre pasa la norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire en las horas laborales.

Material Particulado 2,5 μ

En la *Tabla No 23* podemos apreciar la gran cantidad de contaminación existente en el DMQ del Material Particulado 2,5 μ , la mayoría de valores horarios superan los límites permitidos por las Guías de la Calidad del Aire de la OMS y la Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire, sin embargo se puede apreciar una disminución en cuanto a las horas de la madrugada y la tarde.

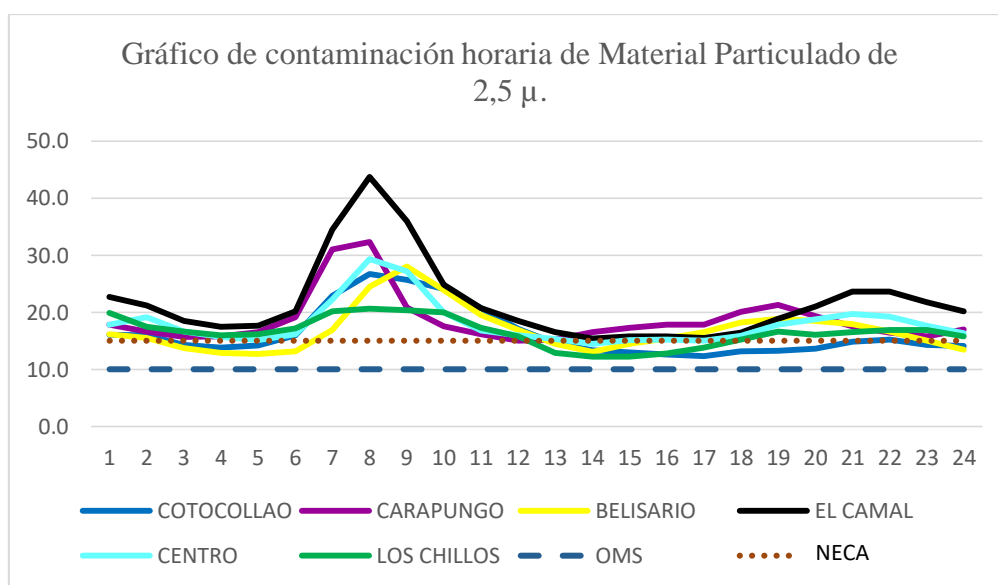
Tabla No. 23 Resumen de datos horarios de Material Particulado 2,5 μ (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Tabla resumen de datos horarios de Material Particulado 2,5 μ																								
Estación de Monitoreo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
COTOCOLLAO	16.0	16.0	14.3	13.8	14.2	15.9	22.8	26.7	25.7	24.1	20.7	17.1	14.5	13.4	13.0	12.6	12.3	13.1	13.2	13.6	14.8	15.2	14.3	14.0
CARAPUNGO	17.8	16.6	15.7	15.7	16.5	19.2	31.0	32.3	20.8	17.6	16.1	15.0	15.2	16.5	17.3	17.8	17.9	20.0	21.3	19.3	17.5	16.4	15.8	17.0
BELISARIO	16.1	15.5	13.7	12.8	12.7	13.1	16.8	24.5	28.0	23.9	19.5	16.8	14.5	13.1	14.5	15.4	16.5	18.2	18.8	18.5	18.0	16.6	15.0	13.4
EL CAMAL	22.7	21.2	18.5	17.4	17.6	20.1	34.4	43.8	36.0	24.8	20.7	18.5	16.5	15.3	15.7	15.8	15.5	16.4	18.9	21.0	23.7	23.6	21.8	20.2
CENTRO	17.8	19.1	16.6	15.7	15.2	16.1	22.3	29.3	27.2	19.9	16.8	15.9	15.3	14.5	15.1	15.2	15.0	15.9	17.8	18.8	19.7	19.2	17.6	16.3
LOS CHILLOS	19.8	17.5	16.6	16.0	16.1	17.2	20.2	20.6	20.3	20.0	17.2	15.8	12.9	12.2	12.2	12.8	13.8	15.2	16.6	16.0	16.6	16.9	16.9	15.8
OMS	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
NECA	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

Fuente: Informes de la calidad del Aire del DMQ (2005 – 2017); Elaborado por: Carlos Vinueza Arguello, 2018.

En el *Gráfico No. 16* elaborado a raíz de la información de 13 años se evidencia claramente la existencia de 1 pico de contaminación entre las 6:00 AM y las 10:00 AM, seguido de una disminución de la contaminación hasta notar un leve incremento de 5:00 PM a 10:00 PM.

Gráfico No. 16 Promedios de contaminación horaria de Material Particulado de 2,5 μ (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).



Fuente: Informes de la calidad del Aire del DMQ (2005 – 2017); Elaborado por: Carlos Vinueza Arguello, 2018.

En el *Gráfico No. 16* se puede notar una diferencia evidenciable de la estación el camal con la contaminación de las otras estaciones, esto se refiere a que hay diferencias bastante fuertes entre la contaminación de la estación del camal en comparación de las demás estaciones de monitoreo, sin embargo estas siguen el mismo patrón de disminución y aumento a lo largo de las horas.

Ozono (O₃)

En la *Tabla No 24* no hay ningún valor que sobre pase el límite permitido por la OMS o la NECA.

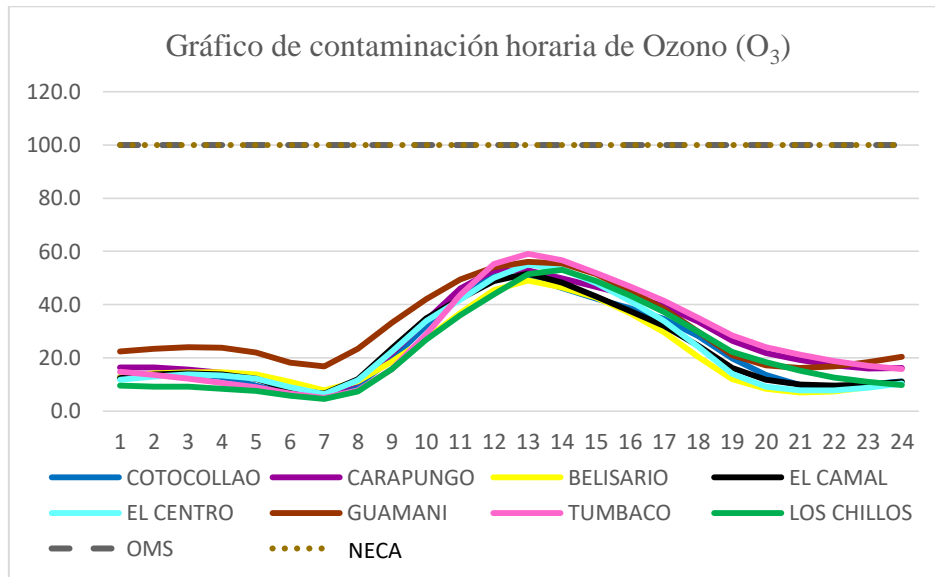
Tabla No. 24 Resumen de datos horarios de Ozono (O₃) (valores en µg/m³).

Tabla resumen de datos horarios de Ozono (O ₃)																								
Estación de Monitoreo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
<u>COTOCOLLAO</u>	12.7	13.9	14.1	12.9	9.5	6.4	4.9	9.8	19.6	32.0	44.0	50.8	50.3	46.2	42.2	38.6	34.6	28.3	19.8	13.6	9.8	9.1	9.9	11.3
<u>CARAPUNGO</u>	16.4	16.3	15.7	14.3	12.2	8.3	5.9	11.1	21.9	34.1	46.0	52.9	52.9	49.8	46.7	43.5	39.4	33.6	26.3	21.8	19.1	17.2	16.0	16.3
<u>BELISARIO</u>	12.8	14.2	14.6	14.6	13.7	11.1	7.7	11.1	18.5	27.3	36.8	45.5	49.0	46.5	42.7	36.9	29.7	20.3	12.0	8.3	7.0	7.4	9.0	11.0
<u>EL CAMAL</u>	12.3	13.7	14.2	13.7	12.1	7.9	6.6	12.0	23.5	34.8	42.3	48.9	51.8	48.2	43.1	37.7	32.0	24.7	16.2	11.8	10.1	9.6	10.0	10.9
<u>EL CENTRO</u>	11.8	13.0	13.7	13.4	12.2	9.0	6.4	11.6	22.4	33.9	41.9	50.1	55.2	53.3	48.1	41.5	33.9	24.1	14.0	9.2	7.7	7.8	8.8	10.3
<u>GUAMANI</u>	22.4	23.4	24.0	23.8	22.0	18.1	16.8	23.4	33.2	42.0	49.5	54.2	56.0	55.5	51.4	45.3	38.5	29.8	21.0	17.3	16.3	16.8	18.4	20.5
<u>TUMBACO</u>	14.8	13.6	12.1	10.6	9.0	6.6	5.0	7.7	15.7	28.9	43.7	55.3	59.1	56.6	51.9	46.8	41.5	35.1	28.5	24.0	21.2	18.8	17.0	15.8
<u>LOS CHILLOS</u>	9.6	9.2	9.3	8.5	7.6	5.7	4.6	7.4	15.8	26.7	35.9	43.9	51.5	53.1	49.0	43.4	37.3	29.8	22.1	18.4	15.3	12.6	10.9	9.9
OMS	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
NECA	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Fuente: Informes de la calidad del Aire del DMQ (2005 – 2017); **Elaborado por:** Carlos Vinueza Arguello, 2018.

En el *Gráfico No 17* elaborado a raíz de la información de 13 años se evidencia claramente la existencia de 1 pico muy evidente de contaminación entre las 7:00 AM y las 8:00 PM, llegando a su máximo nivel de contaminación a la 1:00 PM, hora de mayor radiación solar, uno de los factores que deben actuar para la creación de este contaminante.

Gráfico No. 17 Promedios de contaminación horaria de Ozono (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).



Fuente: Informes de la calidad del Aire del DMQ (2005 – 2017); **Elaborado por:** Carlos Vinueza Arguello, 2018.

En el *Gráfico No 17* se observa una similitud bastante evidente entre la contaminación de todas las estaciones, esto demuestra una contaminación uniforme y generalizada en el DMQ. Partiendo del conocimiento de los altos valores de contaminación existentes de este contaminante y su distribución general, se infiere una contaminación peligrosa de este gas.

Al ser este el único contaminante secundario en este estudio se puede explicar la diferencia de patrón a los de otros contaminantes, pues en el caso del Ozono, al ser un contaminante creado por la interacción entre los contaminantes dióxido de Nitrógeno y Azufre, con la radiación solar, se explica el aumento evidente del Ozono en el horario en el que más se manifiesta la condición de afectación por la energía emitida por el sol (Radiación solar y rayos ultra violetas).

Dióxido de Nitrógeno

En la *Tabla No 25* la mayoría de valores no sobrepasan el límite permitido por la OMS o la NECA. Tan solo en la estación El Camal se da un aumento que supera las 2 normas de las 7:00 AM a las 8:00 AM. Esto indica un aumento de contaminación el momento de inicio de actividades diarias, esto relaciona al contaminante a la contaminación generada por el parque automotor.

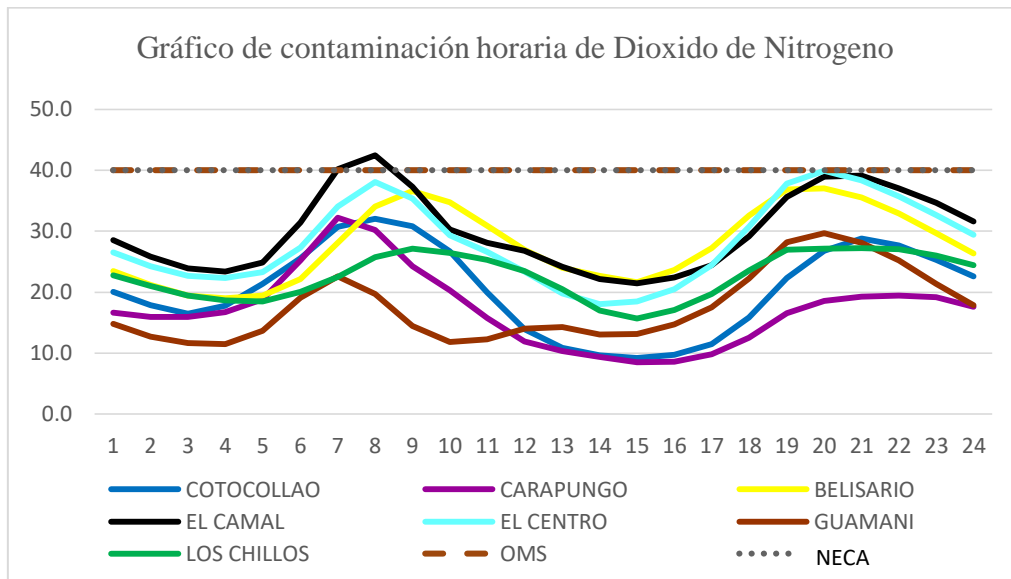
Tabla No. 25 Resumen de datos horarios de Dióxido de Nitrógeno (NO₂) (valores en µg/m³).

Tabla resumen de datos horarios de Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)																								
Estación de Monitoreo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
COTOCOLLAO	20.0	17.8	16.5	17.8	21.3	25.5	30.7	32.0	30.8	26.7	20.0	13.9	10.9	9.6	9.2	9.7	11.5	15.8	22.3	26.8	28.8	27.6	25.3	22.6
CARAPUNGO	16.7	16.0	15.9	16.7	18.8	25.2	32.2	30.2	24.3	20.3	15.8	11.9	10.3	9.3	8.5	8.6	9.8	12.5	16.5	18.5	19.2	19.4	19.1	17.6
BELISARIO	23.5	21.1	19.5	19.0	19.5	22.1	28.1	34.1	36.6	34.8	30.9	27.0	24.0	22.7	21.7	23.7	27.2	32.6	36.8	37.0	35.5	32.9	29.7	26.3
EL CAMAL	28.5	25.8	23.9	23.4	24.8	31.4	40.1	42.4	37.2	30.3	28.1	26.8	24.2	22.2	21.4	22.4	24.4	29.2	35.6	39.0	39.1	37.0	34.6	31.6
EL CENTRO	26.6	24.2	22.7	22.3	23.3	27.3	34.1	38.1	35.4	29.3	26.6	23.4	19.8	18.1	18.5	20.5	24.4	30.7	37.8	39.9	38.3	35.7	32.6	29.4
GUAMANI	14.8	12.7	11.6	11.5	13.7	19.1	22.6	19.7	14.5	11.8	12.2	14.0	14.3	13.1	13.2	14.7	17.5	22.3	28.2	29.7	28.1	25.2	21.4	17.8
LOS CHILLOS	22.7	21.0	19.5	18.6	18.5	20.0	22.5	25.7	27.1	26.4	25.3	23.4	20.5	17.0	15.7	17.1	19.7	23.5	27.0	27.1	27.2	27.1	26.0	24.4
OMS	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
NECA	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40

Fuente: Informes de la calidad del Aire del DMQ (2005 – 2017); Elaborado por: Carlos Vinueza Arguello, 2018.

En el *Grafico No 18* elaborado a raíz de la información de 13 años se evidencia claramente la existencia de 2 picos de contaminación, de las 5:00 AM a las 11:00 AM, llegando a su pico a las 8:00 AM y Luego a partir de las 6:00 PM a 11:00 PM; mientras que los Valles (Valores más bajos), son en los horarios 12:00 PM a 5:00 PM y otro de 12:00 AM a 4:00 AM.

Gráfico No. 18 Promedios de contaminación horaria de Dióxido de Nitrógeno (valores en µg/m³).



Fuente: Informes de la calidad del Aire del DMQ (2005 – 2017); Elaborado por: Carlos Vinueza Arguello, 2018.

En el *Grafico No 18* se puede notar una cierta diferencia entre las estaciones de monitoreo, pese a esto se distingue un patrón muy claro de focalización de la contaminación. Es fácil distinguir la mayor y menor contaminación del aire en los diferentes horarios.

Dióxido de Azufre.

En la *Tabla No 26* la mayoría de valores no sobrepasan el límite permitido por la OMS o la NECA. Tan solo en las estaciones El Camal se da un aumento que supera las Guías de la Calidad del Aire de la OMS de las 7:00 AM a las 8:00 AM y Los Chillos se da un aumento que supera las Guías de la Calidad del Aire de la OMS de las 10:00 AM a las 11:00 AM. Esto indica un aumento de contaminación el momento de inicio de actividades diarias en cada sector, esto relaciona al contaminante a la contaminación generada por el parque automotor.

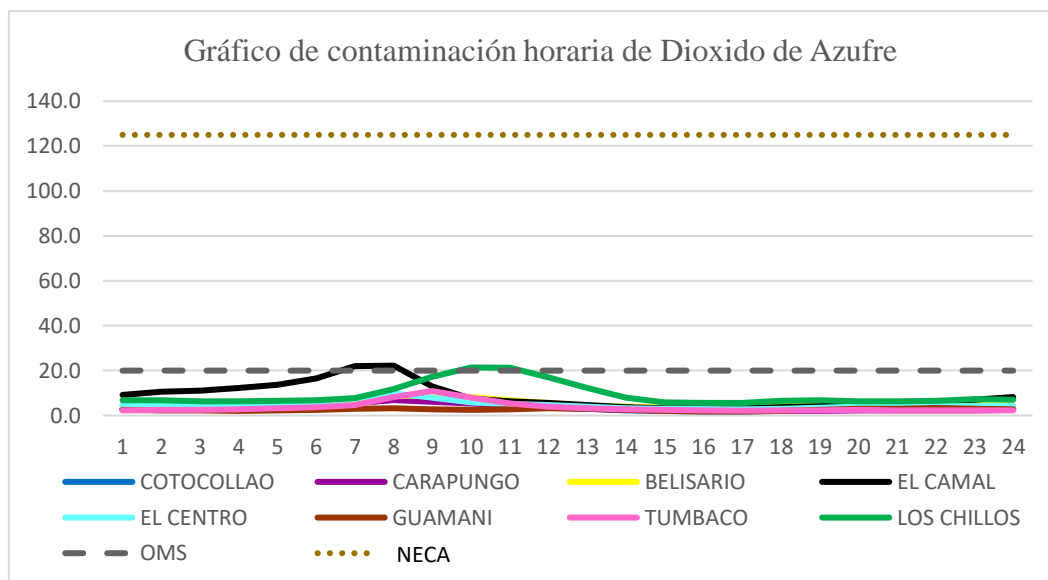
Tabla No. 26 Resumen de datos horarios de Dióxido de Azufre (SO₂) (valores en µg/m³).

Tabla resumen de datos horarios de Dióxido de Azufre (SO ₂)																								
Estacion de Monitoreo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
<u>COTOCOLLAO</u>	2.9	2.9	2.8	2.9	3.1	3.8	5.3	7.1	6.9	6.0	4.8	3.7	2.9	2.4	2.0	1.9	1.8	2.0	2.3	2.7	3.0	3.1	3.0	2.9
<u>CARAPUNGO</u>	2.8	2.8	3.1	3.3	3.6	4.1	5.6	6.9	6.2	5.3	4.3	3.6	3.0	2.5	2.2	2.0	2.0	2.0	2.1	2.2	2.2	2.3	2.4	2.5
<u>BELISARIO</u>	4.3	4.3	4.1	4.1	4.1	4.4	5.9	8.6	9.1	8.2	6.9	5.5	4.5	3.9	3.6	3.6	3.8	4.3	4.8	5.0	5.0	4.9	4.6	4.4
<u>EL CAMAL</u>	9.1	10.5	11.1	12.4	13.8	16.5	21.9	22.2	13.0	7.4	6.2	5.6	4.6	3.8	3.4	3.2	3.3	3.6	4.3	5.1	5.7	6.2	7.1	8.2
<u>EL CENTRO</u>	4.3	4.4	4.5	4.5	4.8	5.6	7.6	9.8	8.1	5.9	5.1	4.6	3.9	3.3	3.0	2.9	2.9	3.1	3.5	4.0	4.2	4.2	4.2	4.3
<u>GUAMANI</u>	2.5	2.3	2.3	2.2	2.2	2.5	3.0	3.2	2.8	2.6	2.7	3.1	3.0	2.4	2.0	1.9	1.9	2.1	2.6	3.0	3.1	3.4	3.0	2.8
<u>TUMBACO</u>	2.3	2.4	2.6	2.9	3.3	3.8	4.7	8.3	10.9	8.0	5.5	4.0	3.3	2.8	2.5	2.2	2.2	2.2	2.3	2.4	2.3	2.3	2.2	2.2
<u>LOS CHILLOS</u>	6.8	6.8	6.3	6.4	6.6	6.7	7.7	11.8	17.2	21.4	21.2	17.1	12.2	7.9	5.9	5.6	5.7	6.5	6.8	6.4	6.2	6.5	7.2	7.0
<u>OMS</u>	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
<u>NECA</u>	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125	125

Fuente: Informes de la calidad del Aire del DMQ (2005 – 2017); Elaborado por: Carlos Vinueza Arguello, 2018.

En el *Grafico No 19* elaborado a raíz de la información de 13 años se evidencia claramente la existencia de 1 pico de contaminación entre las 6:00 AM y las 10:00 AM, seguido de una disminución de la contaminación hasta notar un leve incremento de 5:00 PM a 10:00 PM.

Gráfico No. 19 Promedios de contaminación horaria de Dióxido de Azufre (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).



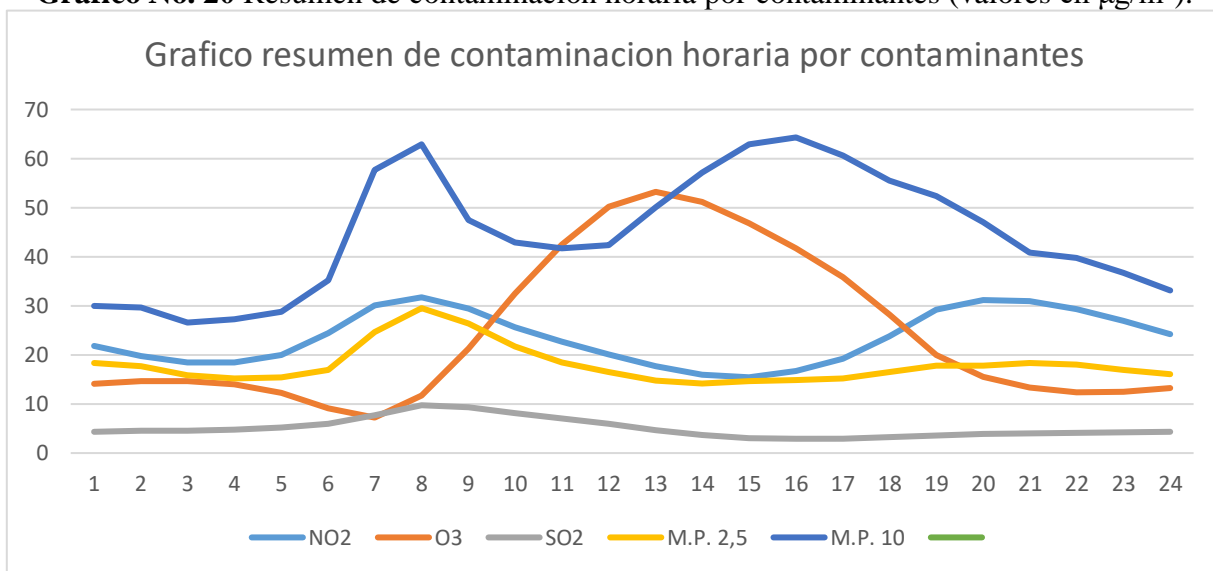
Fuente: Informes de la calidad del Aire del DMQ (2005 – 2017); **Elaborado por:** Carlos Vinueza Arguello, 2018.

Sin embargo es muy evidente la diferencia de contaminación entre las estaciones de monitoreo más contaminadas, pues se observan aumentos de contaminación en horarios diferentes, La estación de monitoreo El Camal presente un aumento de contaminación a partir de las 5:00AM hasta las 9:00 AM; mientras que La estación de monitoreo Los Chillos presenta un aumento de contaminación de 8:00 AM a 12:00 PM. Esto se puede deber al diferente comienzo de actividades de la población en estos diferentes sectores.

Análisis generalizado de las horas con mayor y menor contaminación del aire

En el siguiente grafico se puede observar un promedio de contaminación obtenido de cada contaminante investigado en esta disertación, esto con el objetivo único de poder determinar un patrón de similitud e inferir el motivo del mismo, a su vez también pretende identificar la diferencia entre los contaminantes primarios y el contaminante secundario.

Gráfico No. 20 Resumen de contaminación horaria por contaminantes (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$).



Fuente: Informes de la calidad del Aire del DMQ (2005 – 2017); **Elaborado por:** Carlos Vinueza Arguello, 2018.

Similitudes:

Se puede observar de manera muy evidente, el aumento de contaminación a partir de las 6:00 AM y 7:00 AM, horarios en los que comienza la realización de las actividades de la población quiteña, de manera evidente se demuestra la afectación directa de la actividad humana a la calidad del aire.

Exceptuando el contaminante Ozono, se puede observar un patrón generalizado de aumento – disminución – aumento de la contaminación del aire, esto puede deberse a el horario definido como hora pico de movilización del parque automotor, es decir, la contaminación del aire está estrechamente ligada a la contaminación emitida por el parque automotor del DMQ.

Diferencia:

La diferencia entre el Ozono y los demás contaminantes es debido a que este contaminante es secundario, es decir, el Ozono se forma a partir de la reacción química entre los contaminantes Dióxidos (NO_2 y SO_2) con radiación solar y rayos ultravioletas, de esta manera se crea la contaminación por Ozono. Por lo tanto la razón de que el pico de contaminación del Ozono sea

en medio día, se debe a que en este horario se presenta en mayor fuerza la energía solar que recibe nuestra ciudad.

3.2.4 Determinación de las estaciones con mayores índices de contaminación

Las estaciones con más altos índices de contaminación fueron obtenidas mediante el cálculo del promedio de los valores anuales de cada contaminante. Es decir, por ejemplo, la estación Carapungo tiene el promedio (en los años 2005 - 2017) una contaminación de material particulado 10 μ de 50.21, valor que está por encima de los parámetros de la OMS y la NECA, por lo tanto se considera una estación con altos niveles de contaminación. De igual manera se considera una alta contaminación, pero de menor riesgo a los valores que solo sobre pasen la norma de la OMS y cumplan la NECA.

Tabla No. 27 Estaciones con promedios más altos de contaminación (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ promedio para el periodo 2005 al 2017).

Estaciones	Contaminantes				
	MP 10	MP 2,5	O ₃	NO ₂	SO ₂
Belisario	34.09	18.58	77.41	29.60	7.44
Cotocollao	37.19	17.45	66.03	21.55	4.24
Jipijapa	30.33	24.44	47.32	35.48	14.17
Los Chillos	27.93	15.93	68.68	23.82	8.00
Guamani	42.20	19.00	75.59	18.35	3.51
Centro	41.09	19.50	70.35	29.71	6.12
El camal	40.77	23.84	61.03	32.01	12.19
Carapungo	50.21	19.22	74.78	18.10	4.17
Tumbaco	33.52	14.80	71.64	18.50	3.95
Tababela	32.32	21.90	No Aplica	14.00	No Aplica
San Antonio	48.60	16.20	No Aplica	15.00	No Aplica
<u>OMS</u>	25.00	10.00	100.00	40.00	20.00
<u>NECA</u>	50.00	15.00	100.00	40.00	125.00

Fuente: Informes de la calidad del Aire del DMQ (2005 – 2017); Elaborado por: Carlos Vinueza Arguello, 2018.

En la *Tabla No 27* se observan las estaciones con mayor índice de contaminación, que superan los límites de la NECA y que son:

- **MP.10:** Carapungo (Rojo).

- **MP.2.5:** Belisario, Cotocollao, Jipijapa, Los Chillos, Guamani, Centro, El Camal, Carapungo, Tababela y San Antonio (Rojo); Tumbaco (Amarillo).
- **Ozono:** Todas cumplen las normas.
- **Dióxido de Nitrógeno:** Todas cumplen las normas.
- **Dióxido de Azufre:** Todas cumplen las normas.

Por otro lado, de acuerdo a los resultados que se presenta en la *Tabla No 27*, se evidencia que el contaminante material particulado se encuentra fuera del recomendado por la guía de calidad del aire de la OMS; todas las estaciones presentan una contaminación de Material Particulado de 10 y 2.5 micrones que sobre pasa por mucho al índice de contaminación de la OMS. Al ser un contaminante de alto riesgo es importante ubicar sus fuentes principales haciendo uso de sensores movibles dentro de las zonas de afectación para determinar el foco de contaminación, de ser las canteras cercanas al sector, tratarlas de la manera más adecuada para su reducción. También se puede proponer normativas que limiten la cantidad de canteras que pueden estar abiertas al mismo tiempo y presionar para que el cabildo tome medidas ambientales más estrictas.

El ozono en el caso del promedio de 2005-2017 no presentan valores que sobre pasan el límite de los estándares de la OMS, ni los de la NECA. Adicionalmente, se hizo un análisis específico con los datos de los 5 últimos años ya que a la luz de los resultados que se pueden observar en el *Grafico No 5* se evidencia un incremento exponencial del contaminante Ozono, que es un contaminante de alto riesgo para la salud, cuando los valores están sobre los parámetros permitidos por la OMS y la NECA. Las estaciones de monitoreo que presentan este aumento y sobrepasan la OMS y la NECA son; Los Chillos, Guamaní, Centro, Carapungo y Tumbaco. De la manera en que se encuentran distribuidas a lo largo del DMQ, se demuestra un aumento del contaminante en todo el DMQ, esta debe estar ligada a la radiación solar, que es motivo de aumento de la contaminación por Ozono.

Con respecto al Dióxido de Nitrógeno y Dióxido de Azufre, al ser contaminantes cuyo promedio no supera el límite de la Guía de la Calidad del Aire de la OMS y la Norma Ecuatoriana de la

Calidad del Aire, se puede inferir una contaminación leve que todavía no amerita ninguna acción de mitigación pero si de prevención.

3.2.5 Sectores con mayor exposición al contaminante

En cuanto a la afectación de la salud de la población del DMQ se utilizó las tablas de los promedios de contaminación que superen el límite de la Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire para identificar el sector y la población afectada por cada contaminante al que se encuentran expuestos.

En cuanto al Material Particulado de 10 μ , los valores de las estaciones de monitoreo ubicadas en Carapungo y San Antonio se encuentran sobre el límite permisible de contaminación recomendado por la OMS y la NECA. Por ende, es necesario tomar medidas para reducir el contaminante en esta área, con el fin de proteger a las personas que viven o transitan por altos periodos de tiempo la zona.

De acuerdo a lo indicado en la *Tabla No 28* se estaría hablando de una afectación a un total de población de 283,015 personas por el contaminante de más peligroso para la salud de las personas.

Tabla No. 28 Población más afectada por el Material Particulado

PARROQUIAS	POBLACIÓN
CALDERON (CARAPUNGO)	152,242
SAN ANTONIO DE PICHINCHA	32,357
POMASQUI	28,910
CARCELEN	54,938
CALACALI	3,895
LLANO CHICO	10,673
<u>TOTAL</u>	283,015

Fuente: (INEC, 2010); Elaborado por: Carlos Vinueza Arguello, 2018.

En cuanto al Material Particulado de 2.5 μ , los valores de todas las estaciones de monitoreo superan la contaminación permitidas por las Guías de la Calidad del Aire de la OMS y la Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire, lo que indica una afectación a toda la población que vive o desarrolla sus actividades diarias en el DMQ, lo que representa una población de 2, 885,111 afectada por la contaminación del Material Particulado 2.5 μ .

En cuanto al contaminante de Ozono, es imperativo reducir su contaminación debido a que este es un contaminante que incluso estando por debajo del límite establecido por la OMS, puede causar daños del aparato respiratorio a corto o a largo plazo; razón por la cual se realizó un promedio de los últimos 5 años, arrojando como resultado datos que indican que las estaciones de Los Chillos, Guamaní, Centro, Carapungo y Tumbaco; se mantienen con un promedio de contaminación sobre lo permitido por la OMS y la NECA.

En la *Tabla No 29* se observa que en los últimos 5 años, aproximadamente 1.013,778 personas, viven dentro del área afectada por la contaminación de ozono.

Tabla No. 29 Población afectada por el Ozono

PARROQUIAS	POBLACIÓN
CALDERON (CARAPUNGO)	152,242
LOS CHILLOS	166,812
CENTRO	217,509
GUAMANÍ	319,857
TUMBACO	157,358
<u>TOTAL DE POBLACIÓN AFECTADA</u>	1,013,778

Fuente: (INEC, 2010); Elaborado por: Carlos Vinuesa Arguello, 2018.

En cuanto a los contaminantes Dióxido de Nitrógeno y Dióxido de Azufre, el estos no superar los límites de contaminación de la OMS y la NECA, no se puede determinar cómo daño o afectación a la salud de la población, por lo tanto en cuanto a estos contaminantes el aire del DMQ se encuentra considerablemente optimo, dentro de valores que respetan la salud de la población.

3.3 MAPEO DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL DMQ

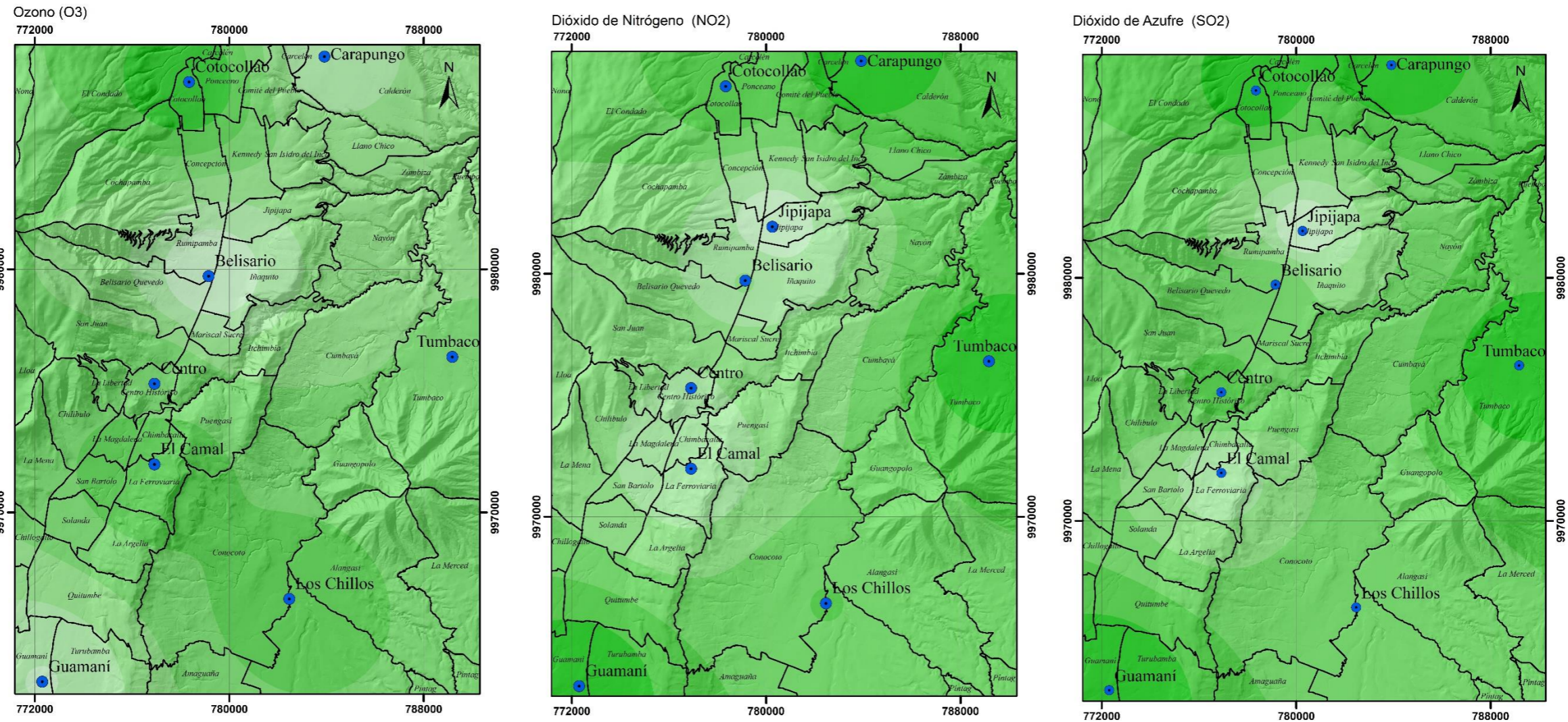
El objetivo de la realización del mapeo de la contaminación del aire de DMQ, es poder obtener un documento que permita visualizar la distribución de la contaminación del aire en el territorio monitoreado por la estaciones de monitoreo del DMQ.

3.3.1 Mapeo de contaminación por gases y material particulado en las estaciones de monitoreo de DMQ del promedio anual del periodo 2005 – 2017

Se obtuvieron mapas que presenta de manera visual la localización de la contaminación del aire en el área de estudio, en esta representación se puede claramente distinguir las zonas más afectadas por la contaminación junto con las zonas menos contaminadas. Hay que notar el hecho de que en el caso del *Mapa No 2* de gases el promedio de contaminación utilizado para la elaboración de este mapa no supera los límites establecidos por la Guía de la Calidad del Aire de la OMS ni la Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire, por lo tanto se puede entender en la leyenda del mapa, que la coloración en tonos verdes va a denotar si la contaminación del aire es más baja o alta, no semejante en el caso del material particulado, puesto que supera los parámetros de calidad establecidos, se establece una leyenda mostrando una muy alta o baja contaminación.

Mapa No. 2 Representación de la contaminación del aire por gases en las estaciones de monitoreo del DMQ 2005–2017.

MAPA DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR GASES EN LAS ESTACIONES DE MONITOREO DEL DMQ 2005 - 2017



LEYENDA

Contaminación del Aire (valores en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	O ₃	NO ₂	SO ₂
Baja (Cumple la NECA y OMS)	66,02 - 67,9	18,09 - 20,9	3,5 - 5,2
	67,9 - 69,8	20,9 - 23,8	5,2 - 7,05
	69,8 - 71,7	23,8 - 26,7	7,05 - 8,8
	71,7 - 73,6	26,7 - 29,6	8,8 - 10,6
	73,6 - 75,5	29,6 - 32,5	10,6 - 12,3
Media (Cumple la NECA)	75,5 - 99,9	32,5 - 39,9	12,3 - 14,9
	>100	>40	20 - 125
Alta (No Cumple la NECA y OMS)	>100	>40	>125

*Nota: Los colores amarillo y rojo no se observan en el mapa debido a que ninguno de sus valores sobrepasan los límites establecidos por la NECA y la OMS.

Simbología

- Estación de monitoreo
- ▭ Parroquias

Datum: WGS 84 Zona: 17 s
Escala: 1:165.000

Mapa de ubicación del área de estudio en el DMQ.

Área de Estudio

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
Facultad de Ciencias Humanas
Escuela de Ciencias Geográficas
Ciencias Geográficas y Planificación Territorial

Contiene: MAPA DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR GASES DEL 2005 - 2017 EN LAS ESTACIONES DEL DMQ

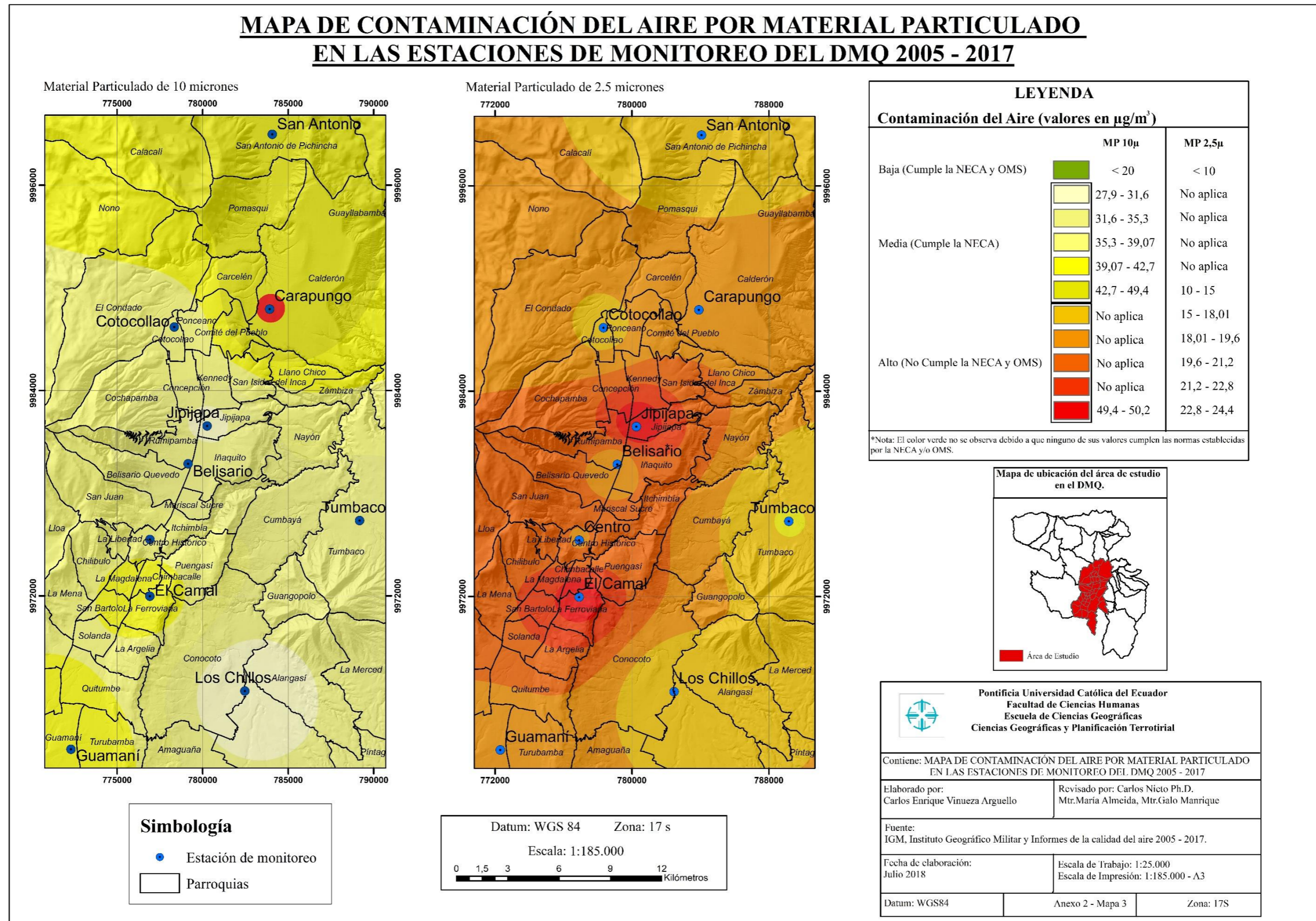
Elaborado por: Carlos Enrique Vinuesa Arguello	Revisado por: Carlos Nieto Ph.D. Mtr.Maria Almcida, Mtr.Galo Manrique	
Fuente: IGM, Instituto Geográfico Militar y Informe de la calidad del aire 2005 - 2017.		
Fecha de elaboración: Julio 2018	Escala de Trabajo: 1:25.000 Escala de Impresión: 1:165.000 - A3	
Datum: WGS84	Anexo 1 - Mapa 2	Zona: 17S

En cuanto el ozono se puede observar que la contaminación más alta se encuentra en las estaciones de Belisario, Guamani y Carapungo. También se observa las estaciones de Cotocollao, El Camal y Los Chillos como los sitios con mejor calidad de aire (por contaminación con Ozono).

En cuanto al Dióxido de Nitrógeno se puede observar que la contaminación más alta se encuentra en las estaciones netamente centrales como Belisario, Jipijapa, El Centro y El Camal. También se observa las estaciones de Cotocollao, Carapungo, Tumbaco, Los Chillos y Guamani como los sitios con mejor calidad de aire (por contaminación con NO_2).

En cuanto al Dióxido de Azufre se puede observar que la contaminación más alta se encuentra en las estaciones Jipijapa y El Camal. También se observa las estaciones de Cotocollao, Carapungo, El Centro, Tumbaco y Guamani como los sitios con mejor calidad de aire (por contaminación con SO_2).

Mapa No. 3 Representación de la contaminación del aire por material particulado en las estaciones de monitoreo del DMQ 2005–2017.



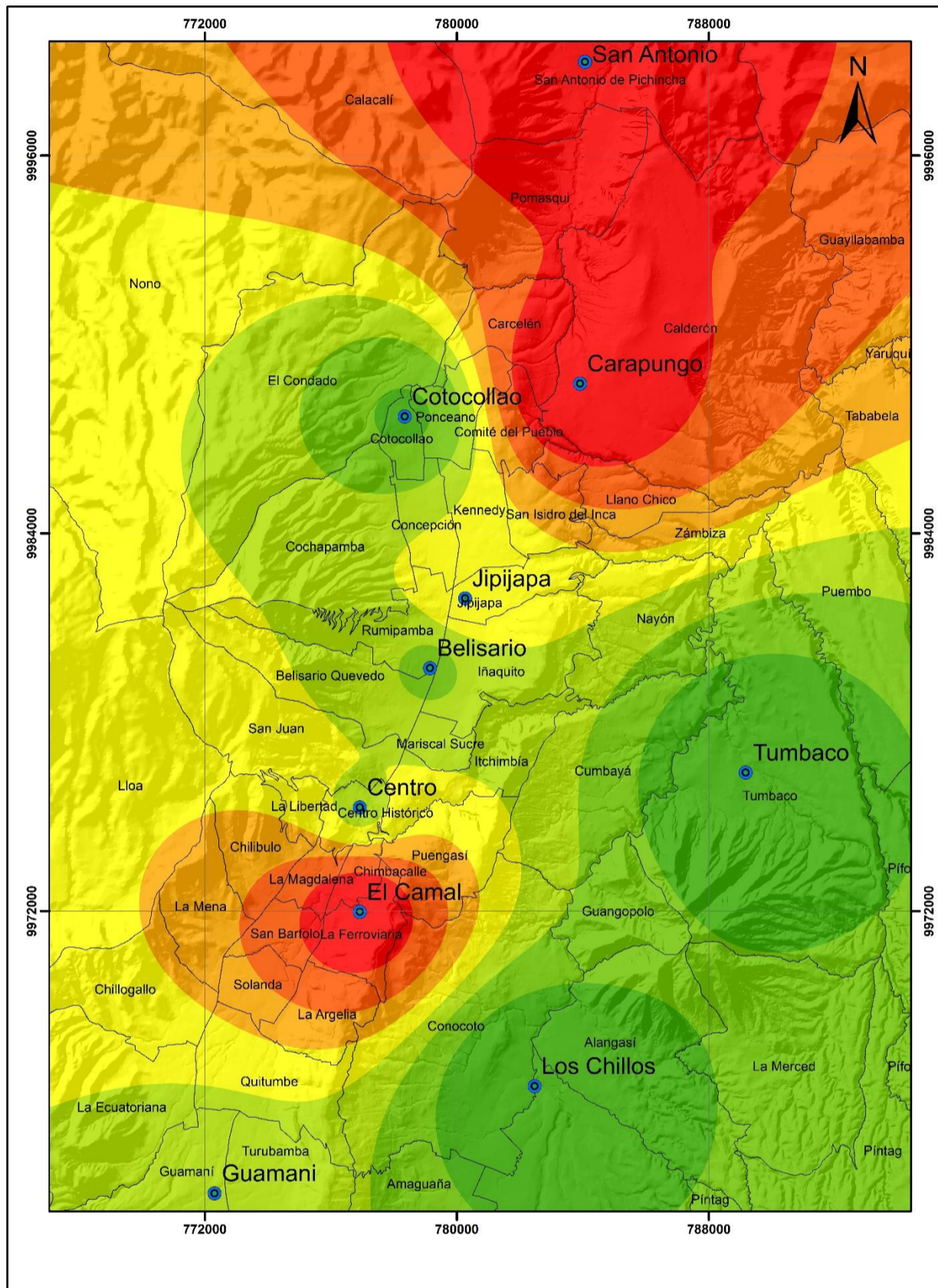
Con respecto al *Mapa No 3* de Material Particulado de 10μ es evidenciable la localización de su contaminación, se puede observar la contaminación enfocada en la zona norte del DMQ en las estaciones de Carapungo y de manera más leve San Antonio de Pichincha, zonas que por su localización son fácilmente distinguibles como áridas y con una gran cantidad de canteras en funcionamiento constante. En cuanto a las demás estaciones se puede observar una menor contaminación debido a la degradación del rojo intenso hacia el amarillo, color que indica el cumplimiento de la NECA.

En cuanto a la contaminación con material particulado de $2,5\ \mu$ (*Mapa No 3*), se tiene que las estaciones con mayor contaminación son Jipijapa y el Camal, siendo las estaciones con mayor contaminación son los puntos más críticos de la calidad del aire dentro del área más densamente poblada, ya que la calidad del aire en cuanto a este contaminante está ubicada dentro de una zona residencial dentro del DMQ.

3.3.2 Mapeo de peligrosidad de la contaminación del aire del DMQ en el periodo 2005 – 2017

El *Mapa No 4* presenta de manera visual la localización de la peligrosidad de la calidad del aire en el área de estudio, en esta representación podemos claramente distinguir las zonas más peligrosas para la salud del ser humano por la contaminación. Hay que notar el hecho de que este mapa es la ponderación tomando en cuenta como eje principal el daño que puede ocasionar los contaminantes a la salud

MAPA DE PELIGROSIDAD DE LA CALIDAD DEL AIRE DEL DMQ 2005 - 2017



LEYENDA

Peligrosidad del Aire (valores de ponderación)

↓		4,3 - 4,7
↓		4,7 - 5,06
↓		5,06 - 5,2
↓		5,2 - 5,4
↓		5,4 - 5,6
↓		5,6 - 5,9

Mayor peligrosidad del aire ↓

SIMBOLOGÍA

- Estación de monitoreo
- Parroquias

Mapa de ubicación del área de estudio en el DMQ.

Área de Estudio

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
Facultad de Ciencias Humanas
Escuela de Ciencias Geográficas
Ciencias Geográficas y Planificación Territorial

Contiene: MAPA DE PELIGROSIDAD DE LA CALIDAD DEL AIRE DEL DMQ 2005 - 2017.

Elaborado por: Carlos Enrique Vinucza Arguello	Revisado por: Carlos Nieto Ph.D. Mtr. María Alcmeida, Mtr. Galo Manrique
Fuente: IGM, Instituto Geográfico Militar y Informe de la calidad del aire 2005 - 2017.	
Fecha de elaboración: Julio 2018	Escala de Trabajo: 1:25.000 Escala de Impresión: 1:150.000 - A3
Datum: WGS84	Anexo 3 - Mapa 4 Zona: 17S

Datum: WGS 84 Zona: 17 s

Escala: 1:150.000

En el *Mapa No 4* se puede observar que la zona de más alto riesgo para la salud del ser humano es el norte del DMQ, en las estaciones de San Antonio de Pichincha y Carapungo, esto se debe al abundante cantidad de contaminación de Material Particulado de 10μ en esa área, y a que el Material Particulado es considerado como el contaminante más peligroso para la salud de la población. Además, se puede observar que la estación de El Camal con un alto nivel de peligrosidad, puesto a que este sitio también está contaminado con altas cantidades de Material Particulado de $2,5\mu$ contaminante que está más asociado a la contaminación generada por el parque automotor y las industrias ubicadas en la zona.

En cuanto a los contaminantes gaseoso como lo son, Ozono, Dióxido de Nitrógeno y Dióxido de Azufre, al tener como promedio del periodo analizado valores dentro de las Guías de la Calidad del Aire de la OMS y Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire, estas no generan focos de contaminación y pasan a formar parte de las áreas de menor contaminación.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1. CONCLUSIONES

En cuanto a la hipótesis planteada sobre que la calidad del aire del DMQ basada en la información de los puntos de monitoreo de la Secretaria del Ambiente del Municipio, concuerdan con los estándares internacionales de la OMS y los de la NECA. Se concluye el no cumplimiento del contaminante material particulado de (10 y 2.5) μ para la Guía de la calidad del aire de la OMS y el incumplimiento de la NECA del Material Particulado 2.5 μ .

La calidad de aire del DMQ en cuanto al cumplimiento de la NECA y la guía de la calidad del aire de la OMS es mala en lo que respecta al contaminante Material Particulado y buena en lo que respecta a la calidad del aire de los gases contaminantes.

La contaminación del aire por Ozono se ha incrementado en todas las estaciones de monitoreo de la Secretaria de Ambiente a partir del 2012 (los últimos 5 años), de acuerdo al estudio anual de este contaminante, esto pone en riesgo a la población por su peligrosidad así anciano, niños y personas con enfermedades pulmonares.

Se encontró una correlación positiva entre la contaminación por Dióxido de Nitrógeno y Dióxido de Azufre, y el uso de los automóviles, junto con el aumento de contaminación de Material Particulado en horas laborables, vinculando el contaminante al tráfico, industria y Canteras. Se obtuvo como respuesta al aumento del Ozono, el hecho de que el DMQ ha recibido mayor cantidad de radiación solar los últimos años.

Debido a la relación entre la presencia de lluvias y la disminución de la contaminación, observados gracias a la comparativa del climograma del DMQ y las tablas de promedios mensuales, se puede concluir que existe una disminución de los contaminantes en el ambiente en época de lluvias del DMQ, lo que indica una menor contaminación y una purificación del aire en presencia de precipitaciones.

4.2. RECOMENDACIONES

En cuanto a la caracterización de los parámetros de control de la calidad del aire, me es necesario recomendar la modificación de la Norma Ecuatoriana de la Calidad del Aire, con el fin de que todos los parámetros de los contaminantes se igualen con la Guía de la Calidad del Aire de la OMS, de esta manera estar acorde las indicaciones y parámetros internacionales.

En cuanto a la zonificación de peligrosidad de la calidad del aire, se recomienda la toma de medidas drásticas en cuanto la reducción del foco más grande de contaminación de material particulado en el DMQ, las canteras ubicadas al norte del DMQ, están contaminando el área de manera escandalosa, se puede apreciar tanto en la investigación realizada como en los informes anuales de contaminación del aire, que existe una contaminación permanente del material particulado que sobre pasa nuestra norma y la guía internacional emitida por la OMS.

Debido al esporádico aumento de la contaminación con el gas Ozono, se recomienda la realización de más estudios que ayuden a corroborar que el aumento de la contaminación del aire por Ozono está ligada al aumento de la radiación solar en el DMQ, o ayuden a determinar el motivo del incremento de este contaminante, para que se pueda proponer un tratamiento con el fin de disminuir la contaminación y garantizar un entorno saludable para la población del DMQ.

Se recomienda al Municipio del DMQ (Secretaria de Ambiente) de manera puntual la elaboración de un sistema automatizado, que pueda brindar la información de la calidad del aire de manera más específica, filtrada y rápida, con el fin de promover la elaboración de más investigaciones relacionadas al cuidado del aire ambiente y su adecuado manejo y control.

BIBLIOGRAFÍA

- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2016). *Óxidos de nitrógeno (monóxido de nitrógeno, dióxido de nitrógeno, etc.)*. Recuperado el 10 de octubre del 2018., de https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts175.html.
- Asamblea Constitucional del Ecuador. (2008). *Constitución del Ecuador*. Montecristi: Editorial jurídica del Ecuador.
- Asamblea Nacional. (2017). *Código Orgánico Ambiental* (Vols. Registro Oficial Suplemento 983 de 12-abr.-2017.). Quito, Ecuador: Editorial Jurídica del Ecuador.
- Camacho, A y Ariosa, L. (2000). *Diccionario de terminos ambientales*. La Habana: Instituto de Iliteratura y linguistica.
- CORPAIRE. (2006). *Informe Anual 2005, La Calidad del Aire en Quito*. Quito: CORPAIRE.
- CORPAIRE. (2007). *Informe Anual 2006, La Calidad del Aire en Quito*. Quito: CORPAIRE.
- CORPAIRE. (2008). *Informe Anual 2007, La Calidad del Aire en Quito*. Quito: CORPAIRE.
- CORPAIRE. (2009). *Informe Anual 2008, La Calidad del Aire en Quito*. Quito: CORPAIRE.
- CORPAIRE. (2010). *Informe Anual 2009, La Calidad del Aire en Quito*. Quito: CORPAIRE.
- Delgado, O. (2006). *SOCIEDAD Y NATURALEZA EN LA GEOGRAFÍA HUMANA: VIDAL DE LA BLACHE Y EL PROBLEMA DE LAS INFLUENCIAS GEOGRÁFICAS*. Bogotá – Colombia.: Departamento de Geografía. Universidad Nacional de Colombia.
- Díaz, V. (2006). *Contaminación por material particulado en Quito*. Quito: Acta Nova. Obtenido de caracterización química de las muestras.

- Ecoestrategia. (2009). *Glosario Ambiental*. Recuperado el 02 de Noviembre del 2018, de <http://www.ecoestrategia.com/articulos/>
- Eldon, Enger y Smith, Brad. (2006). *Ciencia ambiental, Un Estudio de Interrelaciones*. E.E.U.U.: Editorial Mc Graw Hill.
- ESRI. (2016). *Comparar métodos de interpolación*. Recuperado el 12 de Octubre del 2018., de <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/comparing-interpolation-methods.htm>
- Fang, G.C., Chang, C.N., Chu, C.C., Wu, Y.S., Fu, P., Yang, I.L., y Chen, M.H. . (2003). Characterization of particulate, metallic elements of TSP, PM2.5 and PM2.5-10, aerosols at a farm sampling site in Taiwan Taichung. En G. C. Fang. *The Science of the Total Environment*.
- Fundación para la Salud Geoambiental. (2013). *El dióxido de azufre SO2*. Recuperado el 10 de octubre de 2018, de <https://www.saludgeoambiental.org/dioxido-azufre-so2>
- Gomez, M. (2013). *Exposición laboral a material particulado y nanopartículas y su incidencia en la salud del trabajador*. Obtenido de <https://www.prevencionintegral.com/canal-orp/papers/orp-2013/exposicion-laboral-material-particulado-nanoparticulas-su-incidencia-en-salu-trabajdor>.
- González, A. (2018). *Efectos del ozono sobre la salud*. Recuperado el 10 de octubre de 2018., de <https://www.vivosano.org/efectos-del-ozono-la-salud/>
- INAMHI. (2018). *Climograma de Quito*. Recuperado el 2 de Noviembre del 2018, de <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/>
- INEC. (2010). *Instituto Nacional de Estadísticas y Censos*. El Chaco - Napo.
- Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional. (2014). *Informe Especial del Volcán Reventador No. 3*. Recuperado el 23 de Octubre del 2018., de <https://www.igepn.edu.ec/imbabura/884-informe-especial-del-volcán-reventador-no-3>

- Ministerio del Ambiente. (2010). *Plan Nacional del la Calidad del Aire*. Quito: Ministerio de Ambiente.
- Ministerio del Ambiente. (2011). *Norma de Calidad del Aire Ambiente (NECA)*. Quito, Ecuador.
- Ministerio del Ambiente. (2015). “*Acuerdo ministerial N°. 51 Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio Del Ambiente, De La Calidad Ambiental*”. Quito, Ecuador: Editorial juiridica del Ecuador.
- Organización Mundial de la Salud. (2005). *Guia de la calidad del aire*. OMS. Obtenido de whqlibdoc.who.int/hq/2006/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_spa.pdf?ua=1
- *Organización Mundial de la Salud*. (2018). Obtenido de <http://www.who.int/es>
- Secretaria de Ambiente. (2011). *Informe Anual 2010, La Calidad del Aire en Quito*. Quito: Secretaria de Ambiente.
- Secretaria de Ambiente. (2012). *Informe Anual 2011, Calidad del Aire*. Quito: Secretaria de Ambiente.
- Secretaria de Ambiente. (2013). *Informes de Calidad del Aire, 2012*. Quito: Secretaria de Ambiente.
- Secretaria de Ambiente. (2014). *Informe de la Calidad del Aire de Quito 2013*. Quito: Seretaria de Ambiente.
- Secretaria de Ambiente. (2015). *Calidad del Aire en Quito, Informe Anual 2014*. Quito: Secretaria de Ambiente.
- Secretaria de Ambiente. (2016). *Calidad del aire en Quito, Informe Anual 2015*. Quito: Secretaria de Ambiente.
- Secretaria de Ambiente. (2017). *Informe de la Calidad de Aire - 2016, Distrito Metropolitano de Quito*. Quito: Secretaria de Ambiente.

- Secretaria de Ambiente. (2018). *Informe de la Calidad de Aire - 2017, Distrito Metropolitano de Quito*. Quito: Secretaria de Ambiente.
- Secretaria del Medio Ambiente CDMX. (2016). *Que es el Ozono (O3)*. (S. d. CDMX, Ed.) Recuperado el 23 de Octubre del 2018, de <http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/noticias/que-es-ozono/que-es-ozono.pdf>.
- Wark, Kenneth; Warner, Cecil Francis y Davis, Wayne T. . (1990). "*Air Pollution: Its Origin and Control Environmental engineering: Air pollution*", (3th Ed.). Michigan. Estados Unidos.: Editorial Mc Graw Hill. .

ANEXOS

Foto No. 1 Evidencia de Contaminación en la Panamericana Norte



Fuente: El Telégrafo; 2016

Foto No. 2 Evidencia de Contaminación en la Av. 6 de Diciembre



Fuente: El Telégrafo; 2017

Foto No. 3 Guanguiltagua sector Parque Metropolitano 2018



Fuente: El Telégrafo, 2017

Foto No. 4 San Antonio de Pichincha – Cantera Mandingo 9.6 ha.



Fuente: El Comercio, 2016